أساسيات الجيولوجيا البيئية



دكتور/ عماد محمد إبراهيم خليل

استاذ م . بقسم الجيولوجيا

كلية العلوم – جامعة الزقازيق – جمهورية مصر العربية

أساسيات الجيولوجيا البيئية



دكتور/ عماد محمد إبراهيم خليل

استاذ م . بقسم الجيولوجيا

كلية العلوم – جامعة الزقازيق – جمهورية مصر العربية

أساسيات الجيولوجيا البيئية

الإهداء

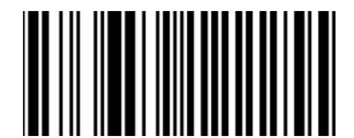
اهدي هذا الكتاب إلي مكتبة قسم الجيولوجيا - كلية العلوم – جامعة الزقازيق .

وإلي جميع زملائي الدكاترة الافاضل بالقسم .

وإلي طلبة الحاضر والمستقبل طلابي بقسم الجيولوجيا.

مع تحياتي وتقديري...

د . عماد محمد إبراهيم خليل



رقم الإيداع : 11430
الترقيم الدولي : 2 -3397- 90 -977- 978

بسم الله الرحمن الرحيم

اللهم إني أسألك علما نافعاً، وأعوذ بك من علم لا ينفع

الإهــــداء

إليك ربي اهـدي عملي هـذا علـه يكـون سجـلاً ولو صغيـراً في صحيفـة أعمـالي .

اللهـم بـارك لـي وبـارك فـي وارض عنـي .

فـأن رضـاك هو جـل مبتغـاي .

والحمـد اللـه رب العاليـن.

محتويات الكتاب

مقدمة الكتاب

بسم الله الرحمن الرحيم

بعد الاتكال على الله وبتوفيق منه فقد تم تأليف وأعداد هذا الكتاب " أساسيات الجيولوجيا البيئية " والذى أعتمد على مصادر مختلفة تم فيها مراعاة الحداثة والرصانة العلمية فضلا عن ذلك اعتمد الكتاب على المصادر الحديثة من كتب وبحوث ونشريات ومؤتمرات عالمية ذات اهتمامات بموضوع البيئة وعلاقاتها بالجيولوجيا والتاثيرات البيئية على سطح الأرض والعلميات الجيولوجية الطبيعية واسباب تزايد التأثيرات الصناعية على ذلك فضلاً عن دراسة معالجة الفضلات والنفايات الضارة مع التركيز على الجوانب التطبيقية فى هذا العلم المتطور والذي يعتمد اساساً على جانبين اساسيين هما الكوارث الطبيعية التى تحدث فى باطن الأرض والتى تنعكس اثارها على السطح كالزلازل والبراكين وآثارهما المدمرة على سطح الأرض ومثل ظاهرة التسونامى والاهتزازات الارضية والتغيرات التى تحدث على تضاريس الارض او الظواهر البيئية السطحية مثل الامطار الغزيرة وذوبان الثلوج وما يصاحب ذلك من انهيارات ارضية او زحف التربة وما تسببه من اضرار وكوارث بشرية واقتصادية وخصوصاً فى دول العالم الثالث . الجانب الآخر من الكتاب ركز على مفاهيم الجيولوجيا البيئية وعلاقتها مع حياة البشر خصوصاً مع الازدياد المضطرد في اعداد سكان العالم والذي تجاوز الستة مليار نسمة وسيصل الى عشرة مليار نسمة فى حدود عام ٢٠٥٠م أو بعده بقليل . كذلك التغيرات المناخية وأسبابها ونتائجها على سطح الارض وعلى حياة البشر.

تعتبر الأرض من الكواكب الفريدة من بين الكواكب الأخرى فى المجموعة الشمسية بامتلاكها بيئة سمحت للحياة أن تنمو وتتطور على مدى مليارات السنين من بكتريا وحيدة الخلية إلى حيوانات ونباتات معقدة . هناك عاملان حاسمان قادا إلى تطور الغلاف الحياتى المتنوع الذى نراه اليوم ، أحدهما هو أن بعد الأرض عن الشمس يولد درجات حرارة سطحية فى مدى بحيث يمكن للمياه أن تتواجد فى كل من الحالة السائلة والغازية ، أما العامل الأخر فهو أن كوكبنا كان قادراً على الاحتفاظ بغلافة الجوي ، الذى سمح فى المقابل للمياه أن تنتقل بين الحالات السائلة والغازية فى نمط دورى.

إن احد الأسباب الرئيسية التى مكنت البشر من النمو والازدهار هو القدرة على فهم وتكييف البيئة التى يعيشون فيها . رغم أن البشر انتفعوا كثيراً من خلال تكييف البيئة والإفادة من موارد الأرض إلا أن هذه الأفعال أدت الى نتائج غير مقصودة وغير مرغوب بها . على سبيل المثال ، لزراعة المحاصيل وبناء المدن كان من الضرورى إزالة الغابات والأراضى العشبية . هذا أدى إلى تقليل قدرة الأرض على امتصاص المياه ، بذلك ازداد تكرار وخطورة الفيضانات وتقليل كل من نوعية وكمية إمدادت المياه، بذلك ازداد تكرار وخطورة الفيضانات وتقليل كل من نوعية وكمية إمدادات المياه . أيضاً ، استخدام موارد الطاقة والمعادن من قبل المجتمعات الحديثة خلف نواتج عرضية بشكل فضلات يمكن ان تسمم الأنهار وتلوث الهواء الذى نتنفسه . فى السنوات الحالية أظهر العلماء أن الاستخدام الكثير للوقود الاحفورى يغير النظام المناخى للأرض ويساهم فى مشاكل الاحتباس الحرارى ، وأصبح واضح تماماً ان البشر هم جزء مكمل للنظام الأرضى والأكثر اهمية أن أفعالنا تؤثر فى البيئة التى نعتمد عليها .

ماهو علم الجيولوجيا ؟ What is Geology?

ان علم الجيولوجيا هو علم دراسة الارض الصلبة والتى تشمل المواد التى تركبت منها والعمليات المتنوعة التى شكلت الأرض . يميل معظم الطلبة الذين لم يعتادوا على الجيولوجيا للاعتقاد انها دراسة الصخور فقط ولهذا السبب يعتبروها غير مثيرة للاهتمام . ومع ذلك يتغير عادة هذا التصور حالماً يبدأ الدراسين بإدراك كيف تتشابك حياتهم مع البيئة الجيولوجية . على سبيل المثال . يرتبط نجاح مجتمعنا فائق التكنولوجيا بشكل مباشر مع معادن معينه لها خواص فيزيائية مستخدمة لأداء مهام حيوية . وربما الاكثر أهمية هى تلك المعادن المحتوية على عنصر النحاس ، وهو فلز له القدرة على توصيل الكهرباء وضرورى جداً فى حياتنا الحديثة .

يدرس الجيولوجيون كيفية تشكل المعادن والعمليات التى تركز تلك المعادن ، ولهذا السبب تقوم شركات التعدين باستخدام الجيولوجيين للبحث عن الرواسب المعدنية القيمة . وبنفس القدر من الأهمية هى قدرة الجيولوجيين على تحديد رواسب النفط والغاز والفحم وهى بمثابة المصدر الرئيسى للطاقة بالنسبة للمجتمع . كما يوفر الجيولوجيون معرفة قيمة حول كيفية تقليل المجتمع من مخاطر العمليات الأرضية الخطرة كالفيضانات والانزلاقات الأرضية والزلازل والانفجارات البركانية .

لقد جرت العادة على تقسيم الجيولوجيا إلى فرعين رئيسيين هما :الجيولوجيا الطبيعية والجيولوجيا التاريخية . تتضمن **الجيولوجيا الطبيعية**: (١) دراسة الأرض الصلبة والعمليات التى شكلت وحورت الأرض. (٢) المواد التي تشملها وتؤثر فيها تلك العمليات . ومن العمليات الجيولوجية النشاط البركاني وأسبابه والزلازل والانهيارات الأرضية والفيضانات. ومن المواد المهمة التي يدرسها هذا العلم التربة والرمال والصخور والهواء وماء البحار. **أما الجيولوجيا التاريخية** فتهدف إلي تاريخ وترتيب الأحداث الجيولوجية سواء المتصلة بفيزياء الأرض أو الحياة، والتي حدثت في الماضي. وتبحث الجيولوجيا التاريخية في الإجابة عن أسئلة تتعلق بتاريخ الأرض مثل: متى تكون كوكب الأرض عموما، ومتى تكونت المحيطات، ومتى نشأت الحياة، ومتى ظهرت الديناصورات لأول مرة، ومتى تكونت جبال البحر الأحمر في الصحراء الشرقية بمصر، ومتى وأين ظهرت الأشجار لأول مرة؟. ومن أهم الإسهامات التي قدمها علم الجيولوجيا التاريخية للمعرفة الإنسانية مقياس الزمن الجيولوجي، حيث تم وضع تقويم زمني لعمر الأرض الذي يبلغ ٤٦٠٠ مليون سنة، كما وضع على هذا التقويم الأحداث الجيولوجية حسب توتيبها الزمني الصحيح.

ماهى الجيولوجيا البيئية؟ What is Environment Geology?

تعتبر الجيولوجيا البيئية – وهى موضوع هذا الكتاب – نقطة البداية في دراسة الأرض وهى البيئة التي تحيط بنا لنكون قادرين على التنبؤ بالتغيرات التي يمكن أن يحدث فيها مستقبلا مما يحتم ضرورة فهم ميكانيكية عمل الأرض ودراسة المواد التي تكونها خاصة المعادن والصخور والعمليات التي تؤثر فيها.

قبل أكثر من 30 سنة الماضية أو نحو ذلك انبثق علم جديد يدعى الجيولوجيا البيئية ، والذى من خلالة نستخدم المعرفة والمبادئ الجيولوجية فى توجية المشاكل التى تنشا من التفاعل بين البشر والبيئة الجيولوجية . وهو فرع من الجيولوجيا التطبيقية ، وتحديداً ، هو استخدام المعلومات الجيولوجية لمساعدتنا فى حل المشاكل المتعلقة باستخدام الأرض ، تقليل التردى البيئى ولزيادة النتائج المستفادة من استخدام البيئات الطبيعية والمعدلة. وهو يتضمن :

1- دراسة المواد الأرضية كالمعادن والصخور والتربة لتحديد كيفية تكونها واستخدامها الممكن كمصادر أو مواقع طمر للفضلات وتأثيرها على صحة البشر .
2- دراسة مصادر المخاطر الطبيعية كالفيضانات والانزلاقات الأرضية والزلازل والنشاطات البركانية لتقليل الخسائر فى الأرواح والممتلكات .
3- دراسة الأرض لتعيين موقع كتخطيط استخدام الأرض وتحليل التأثر البيئى .
4- دراسة العمليات المائية للمياه الجوفيه والسطحيه لتقييم مصادر ومشاكل تلوث المياه.
5- دراسة العمليات الجيولوجية كترسب الرواسب على قاع المحيط وتكون الجبال وحركة المياه على وتحت سطح الأرض لتقييم التغير المحلى والاقليمى والعالمى .

أن المشاكل البيئية المتعلقة بالجيولوجيا :

تقع ضمن صنفين :

١- مخاطر Hazards .

٢- موارد Resources .

نعرف المخاطر الجيولوجية على أنها أى ظرف جيولوجى طبيعى أو صناعى يخلق خطر محتمل لحياة وممتلكات البشر . على سبيل المثال ، الزلازل والانفجارات البركانية والفيضانات والتلوث . أن البعض من تلك المخاطر الجيولوجية تلعب دوراً مهماً فى المحافظة على بيئتنا الصالحة للسكن وقد عملت خلال كل تاريخ الأرض . على سبيل المثال ، الانفجارات البركانية كانت مفيدة فى تطوير الغلاف الجوى والمحيطات . كما أن النشاط البشرى يمكن أن يؤثر على أنواع معينة من العمليات الجيولوجية مما يزيد من شدة الخطر الموجود وتجعله أكثر كلفه من حيث فقدان الأرواح والممتلكات . على سبيل المثال ، استخدام السيطرة الهندسية لتقليل الفيضان . علاوة على ذلك ، تدخل البشر فى العمليات الطبيعية يؤدى إلى نتائج غير مقصودة ، كما فى فقدان الأراضى الرطبة الناتجة عن جهود البشر فى السيطرة على الفيضان.

ان المجال الآخر للجيولوجيا البيئية يتعلق بموارد الأرض التى تتضمن المياه ، التربة ، المعادن وموارد الطاقة . ان استنزاف موارد المياه والتربة يعتبر واحد من التحديات الأكبر للبشر. إن إزالة النباتات الطبيعية من الأراضى من أجل الزراعة وتطوير المدن ، خلق مشكلة معروفة بتلوث الراسب Sediment pollution ، عندما تترك التربة مكشوفة ، تنجرف كميات كبيرة جداً من الراسب إلى الممرات المائية الطبيعية . هذا الراسب الإضافى يدمر البيئة الطبيعية للأنهار ويملئ القنوات تاركها أكثر عرضة للفيضان.

إضافة إلى موارد المياه والتربة، يعتمد المجتمع الحديث بشكل كبير على المخزون غير المتجدد من الطاقة والمعادن . ان الموارد المعدنية توفر أكثر المواد الخام المستخدمة فى البناء كالحديد المستخدم فى صناعة الفولاذ ، النحاس المستخدم فى أى شئ يتعلق بالكهرباء ، والحجر الجيرى فى صناعة الإسمنت .

رغم أن بعض الموارد المعدنية تعتبر غير متجددة مثل الحجر الجيرى، الرمل والحصى إلا أنها متوفرة جداً ومخزونها لا ينضب . على العكس ، هناك معادن أخرى لها تطبيقات حاسمة ومحددة جداً ، ولكن لها مخزون محدود جداً والتى تعتبر ذات أهمية استراتيجية ، كمعادن الكروم والكوبالت والتى هى مطلوبة لإنتاج المحركات النفاذة عالية الفعالية للطائرات العسكرية . وبشكل مساوى من الأهمية للمجتمعات الحديثة هى موارد الطاقة التى تشغل القطاعات الصناعية ، النقل ، التجارية والسكنية . ان النفط الخام مهم بشكل خاص بسبب انه المصدر الأول لوقود المركبات وايضاً كمادة خام لصناعة البلاستيك والكيماويات الزراعية. بسبب أن النفط هو عصب الحياة للمجتمعات الحديثة ، فان واحدة من التحديات الكبيرة هو إحلال مخزون النفط المتناقص مع مصدر بديل للطاقة .

إذا أخذنا بنظر الاعتبار اتساع تطبيقاته ، نستطيع ان نعرف الجيولوجيا البيئية إلى مدى ابعد كفرع من علوم الأرض يدرس النطاق الكامل للتداخلات البشرية مع البيئة الطبيعية ، فى هذا السياق ، الجيولوجيا البيئية هى فرع من العلم البيئى ، وهو علم الارتباطات بين العمليات الطبيعية ، الأحيائية والاجتماعية فى دراسة البيئة .

– هل نحن فى أزمة بيئية ؟ Are we in an Environmental ?

ان المطالب على الموارد المتناقصة عبر النمو السكانى والإنتاج المتزايد لفضلات البشر أنتج ما يشار إليه شعبياً بالأزمة البيئية Environmental Crisis . هذه الأزمة هى نتيجة الاكتظاظ السكانى ، التمدن والصناعة . ان الاستخدام السريع للموارد لا يزال يتسبب فى مشاكل بيئية على مقياس عالمى ، بما فى ذلك :

أ- ان إزالة الغابات وتعرية التربة المرافقة وتلوث المياه والهواء يحدث على عدة قارات .
ب- حيثما يحدث تعدين للموارد مثل الفلزات ، الفحم والبترول تنتج مشاكل بيئية مختلفة .
ج- تنمية كل من مصادر المياه السطحيه والجوفية يؤدى إلى خسارة وتضرر العديد من البيئات على مقياس عالمى .

الوحدة البيئية: Environmental unity

مبدأ الوحدة البيئية ، الذى ينص على ان تأثير واحد يسبب تأثيرات أخرى فى سلسلة من التأثيرات ، هو مبدأ مهم فى تنبؤ التغيرات فى نظام الأرض . على سبيل المثال إذا بنينا سد على نهر ، سوف تحدث عدد من المتغيرات . ان الراسب الذى انتقل أسفل النهر باتجاه المحيط قبل إنشاء السد سوف يحتجز فى الخزان ، وبالتالى ، ستحرم الشواطئ من راسب النهر ، ونتيجة ذلك الحرمان قد يكون تعرية شاطئية متزايدة . أيضاً قد يؤثر نقصان الراسب على الشاطئ على الحيوانات الشاطئية مثل السرطان الرملى والبطلينوس التى تستخدم الرمل . وهكذا ، بناء السد سيظهر سلسلة أو سلاسل من التأثيرات التى ستغير البيئة الشاطئية وما يعيش هناك . أيضاً سيغير السد من هيدرولوجية النهر وسيعيق هجرة السمك الى أعلى النهر .

الجيولوجى لدية القدرة والامكانية العلمية فى دراسة الموارد الطبيعية الموجودة فى القشرة الأرضية وعلى سطح الأرض وتحديد مواقع الترسيبات المعدنية المهمة فى الصناعة وسبل استغلالها بصورة صحيحة . كذلك ممكن للجيولوجى ان يعالج مشاكل تزايد السكان وتوزيعهم فى الاراضى المحدودة المساحة ، فضلا عن دراسة التغيرات التى تحدث على سطح الأرض ، الهزات الأرضية ، البراكين ، التضاريس ، حركة المياه والفيضانات، انزلاقات الصخور ، دراسة المخاطر التى يحدثها الانسان نفسه نتيجة بناء السدود وانشاء الخزانات المائية وما تسببه من مشاكل بيئية طويلة المدى . دراسة البيئة الصحية للأنسان من خلال فحص وتشخيص الاماكن الصالحة للسكن مع ضرورة خلو الصخور وسطح الأرض من اية مواد ضارة مثل وجود ترسبات اليورانيوم او احتوائها على معادن ومركبات ضارة أو استخدام الانسان لمياه ملوثة تضر بصحته، كل هذه الدراسات تهدف فى النهاية الى تهيئة بيئة صحية نظيفة يعتمد عليها الانسان فى عيش آمن ومريح .

من المخاطر الطبيعية والكوارث المحتملة هي :

1. الزلازل earthquakes .
2. الانفجارات البركانية Volcanic eruptions .
3. تسونامى tsunami .
4. الانزلاقات الأرضية Landslides .
5. الانخساف subsidence .
6. الفيضانات floods .
7. الجفاف drought .
8. الأعاصير الاستوائية hurricanes .
9. الأعاصير القمعية tornadoes .
10. اصطدام الكويكبات asteroids impacts .

جميع هذه العمليات قد عملت خلال كل تاريخ الأرض ، لكنها أصبحت خطرة عندما بدأت تؤثر علينا سلبياً ، أى مع بداية ظهور البشر .

تصنيف المخاطر والكوارث:Classification of Natural Hazards & Disasters

يمكن تقسيمها إلى عدة أصناف مختلفة :

١. مخاطر جيولوجية وتشمل :

أ- الزلازل .

ب- الانفجارات البركانية .

ج- تسونامى .

د- الانزلاقات الأرضية .

ه- الفيضانات .

و- التخسفات .

س- الاصطدام مع أجسام فضائية .

٢. مخاطر الغلاف الجوى :

وهى أيضاً مخاطر طبيعية ولكن العمليات المؤثرة فى الغلاف الجوي هى المسئولة بشكل رئيس وتشمل :

أ- الأعاصير الحلزونية الاستوائية cyclones .

ب- الأعاصير القمعية .

ج- الجفاف .

د- العواصف الرعدية الشديدة severe thunderstorms

ه- البرق lightning .

٣.مخاطر طبيعية أخرى :

هذه المخاطر قد تحدث طبيعياً ، ولكن لا تقع ضمن الصنفين المذكورين أعلاه .

أ- غزو الحشرات insect infestation

ب- الأمراض المعدية أو الوبائية disease epidemics

ج- الحرائق الهائلة wildfires

أيضاً يمكن تقسيم المخاطر الطبيعية إلى مخاطر كارثية Catastrophic Hazards التى لها نتائج مدمرة لأعداد كبيرة من البشر ، أو لها تأثير عالمى ، كالأصدام مع أجسام فضائية كبيرة ، انفجارات بركانية ضخمة ، أمراض وبائية عالمية وجفاف عالمى . هكذا مخاطر كارثية تمتلك فرصة ضئيلة للحدوث ، ولكن يمكن أن تمتلك نتائج مدمرة إذا حدثت .

أيضاً يمكن تقسيم المخاطر الطبيعية إلى مخاطر بداية سريعة Rapid Onset Hazards مثل الانفجارات البركانية ، الزلازل ، الفيضانات المفاجئة ، الانزلاقات الأرضية ، العواصف الرعدية ، البرق الحرائق الهائلة التى تتطور من دون سابق إنذار وتضرب بسرعه . ومخاطر بداية بطيئة Slow Onset Hazards مثل الجفاف ، غزو الحشرات والأمراض الوبائية التى تستغرق سنوات لتتطور .

من الناحية الاقتصادية تعتبر الخامات ومواد البناء الاولية المتواجدة فى القشرة الارضية هدفاً اقتصادياً مهماً كونها مصدر من مصادر الثروة والقوة وواحدة من روافد التطور والرقى الحضاري والعمرانى فى الماضي والحاضر وهى مواد محدودة الكميات وان استغلالها واستخراجها ادى الى استنزاف هذه المواد خاصة مع ازدياد الطلب على هذه المواد مع حصول تغيير فى معالم سطح الأرض الطبوغرافية نتيجة الاستخدام غير المبرمج لها مما أدى الى اضرار فى البيئة ايضاً . كذلك ان انشاء المدن بشكل غير مبرمج وغير مدروس علمياً ادى الى ظهور مشاكل بيئية كبيرة ، ومن الظواهر البيئية الخطرة الاخرى هى انشاء المعامل والمصانع الكبيرة والتي تطلق كميات هائلة من الابخرة والغازات الضارة وتزايد هذه النشاطات منذ بدء الثورة الصناعية قبل حوالى 300 سنة التى أدت الى وجود كميات هائلة من الفضلات والغازات الصناعية ادت الى تغيير المعادلة البيئية الطبيعية فى كثير من اصقاع الارض ، مما أدى الى ظهور ظاهرة الاحتباس الحرارى وزيادة تركيز غازات الدفيئة على سطح الأرض والارتفاع التدريجى لدرجات الحرارة وتضائل تركيز غاز الاوزون الذى يحمى الارض من الاشعة فوق البنفسجية .

ان التغيرات المناخية التى تحصل بشكل فعال ومؤثر على سطح الأرض مثل العواصف الرملية والترابية والتذبذب فى معدلات سقوط الامطار وتغير المواسم المطرية وذوبان الجليد فى اقطاب الارض ، مع حصول زيادة فى الاعاصير الموسمية على سطح الأرض وتأثيراتها المدمرة التى أدت الى نتائج وتاثيرات مباشرة منها تدمير المدن التى تقع تحت تأثيراتها مباشرة والخسائر والضحايا البشرية وهى نتائج مباشرة او غير مباشرة نتيجة الاستخدام الخاطئ للموارد الطبيعية او الصناعية . من الظواهر الشائعه الحالية خصوصاً فى منطقة الشرق الأوسط هى ظاهرة الجفاف والتصحر وتآكل التربة وانتشار ظاهرة التصحر والتى ادت الى زيادة رقعة الصحراء وتضائل الغطاء النباتى فضلاً عن زيادة ملوحة التربة والمياه وتدهور نوعية المياه المستخدمة للاغراض البشرية والزراعية او الصناعية وتلوثها بأنواع العناصر الثقيلة والاملاح وهذه الظواهر ادت الى حصول نتائج سلبية على حياة الانسان وعلى كمية الانتاج الزراعى وخصوصاً الظروف الصحية وانتشار الامراض المختلفة .

لأهمية التغيرات المناخية فقد تم عقد مؤتمرات دولية خلال السنوات الخمسين الاخيرة والتى اوصت بضرورة تطبيق الظوابط الصحيحة فى الاستخدام الامثل لسطح الارض وللمواد الخام وخصوصاً استخدام الوقود الاحفورى ومنتجاته ومعالجة المواد الصلبة او السائلة او الغازية الناتجة عن هذه الفعاليات وتشجيع استخدام الوقود الاحفورى ومنتجاته ومعالجة المواد الصلبة او السائلة او الغازية الناتجة عن هذه الفعاليات وتشجيع استخدام الوقود الصديق للبيئة واستخدام الطاقة النظيفة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ، مع ضرورة معالجة المخلفات الضارة التى تطلقها المعامل والمؤسسات الصناعية خصوصاً فى الدول الكبرى الصناعية والتى اثبتت الدراسات بأنها سبب اساسى فى التدهور البيئى على سطح الأرض . كذلك ان ارتفاع درجات الحرارة التدريجى له آثار بيئية كبيرة جداً من خلال ذوبان الجليد وارتفاع مستوى سطح البحر والذى اصبح يهدد المدن الساحلية الكبرى فى العالم وكذلك يؤدى الى تدهور نوعية المياه السطحية والجوفية وتضائلها خصوصاً عند الاستخدام غير المبرمج لهذه المياه وتضائل كمياتها مع قلة تساقط الامطار فى اماكن كثيرة من العالم ومنها منطقة الشرق الأوسط التى تعتبر من اكثر المناطق المتأثرة من تفاقم هذه الظاهرة التى تزداد خطورتها مع الزمن خصوصاً مع الزيادة الواضحة لدرجات الحرارة فى السنوات العشر الاخيرة الماضية مع انخفاض معدل الساقط المطرى السنوى عند مقارنته مع العقود الماضية .

تطور كوكب الأرض:
كيف تطورت الأرض من كتلة صخرية إلي كوكب حي به قارات ومحيطات وغلاف جوي؟.

وتمكن الإجابة على هذا السؤال: في **عملية التمايز** وهى تحول الأرض من كتلة تتكون من مواد مختلطة بعضها ببعض بطريقة عشوائية إلي جسم مقسم من الداخل إلي أغلفة متحدة المركز تختلف عن بعضها فيزيائيا وكيميائيا. وقد حدث التمايز مبكرا في تاريخ الأرض، حيث كان كوكبا ساخنا إلي الحد الذي أدى إلي صهر مكوناته. وقد اصطدمت الأرض عند بداية تكونها بجسيمات كوكبية وأجسام أخرى أكبر. ومن المعروف أن الجسم المتحرك يحمل كمية كبيرة من طاقة الحركة. وقد أدت الاصطدامات إلي تحول معظم طاقة الحركة إلي حرارة، وهى صورة أخرى من صور الطاقة. ويعتقد أن اصطدام جسم في حجم كوكب المريخ مع الأرض بسرعة كبيرة من الحطام في الفضاء، كما انطلقت كمية من الحرارة تكفي لأن ينصهر معظم ما تبقى من مادة ليكون كوكب الأرض الابتدائي. ويعتقد العلماء الآن أن هذا التغير العنيف قد حدث فعلا ولم يؤد إلي الانصهار التام فقط، بل تسبب في تكون القمر، حيث أدى الاصطدام الهائل إلي تكون وابل من الحطام أتى من الأرض ومن الجسم المرتطم في الفضاء ليتكون القمر من هذا الحطام بعد إعادة تشكيله كجسم منصهر كبير. كما أدى هذا الارتطام الكبير إلي انحراف محور دوران الأرض بحوالي ٢٣ عن الوضع الرأسي بالنسبة لمستوى المدار إلي المحور المائل الحالي، بالإضافة إلي زيادة سرعة دوران الأرض. وقد ثبت من دراسة الصخور التي جمعتها مركبة الفضاء أبوللو من القمر أن عمر صخور القمر يقدر بحوالي ٤,٤٤ بليون سنة، وهو مايقرب من زمن الارتطام العنيف. وإذا كانت الفرضية صحيحة، فإن عمر الأرض يتراوح بين العمر المقدر للنيازك وهو ٤,٥٦ بليون سنة وعمر صخور القمر.

وبالإضافة إلي ذلك، فلابد من وجود مصدر يضيف للأرض حرارة باستمرار، حيث يوجد ضمن العناصر الكيميائية الكثيرة في الأرض عدد من العناصر التي تتميز بالقدرة على الإشعاع الطبيعي، بمعني أنها تتحول تلقائياً إلي عناصر أخرى وتطلق كميات من الجسيمات والطاقة الحرارية. ومن أمثلة ذلك عناصر اليورانيوم والثوريوم اللذان يتحولان إلي رصاص، وتنطلق كميات ضئيلة من الحرارة في كل مرة يحدث فيها هذا التحول الإشعاعي. ولذلك، فقد استمر النشاط الإشعاعي في رفع درجة حرارة الأرض حتى في الوقات التي قلت فيها تصادم النيازك.

أ – <u>تمايز الأرض</u>: بدأت الأرض في الانصهار نتيجة للعوامل السابقة، كما بدأت عملية التمايز أيضا ، بأن صعدت المواد المنصهرة الأخف وزنا ناحية السطح، وهى مواد غنية بالسيليكون والألومنيوم والصوديوم والبوتاسيوم. ولا تزال الصخور الموجودة عند سطح الأرض غنية في تلك العناصر، بينما غاصت المواد المنصهرة ذات الكثافة الأعلى، مثل الحديد المنصهر إلي مركز الأرض، وهربت المواد الطيارة على هيئة غازات عبر البراكين. وكونت تلك الغازات الهاربة الغلاف الجوي لكوكب الأرض، والتي تشمل أساسا على بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان وربما الأمونيا. كما نشأ ماء المحيطات من المواد الطيارة أيضا. وأدت عملية التمايز إلي تغير الأرض من كوكب متجانس أصلاً إلي كوكب مكون من أغلفة مختلفة في التركيب والخواص الفيزيائية.

ب – <u>أغلفة الأرض</u> :مختلفة التركيب الكيميائي تنقسم الأرض إلي ثلاثة أغلفة مختلفة في التركيب الكيميائي. ويسمى الغلاف الداخلي جهة المركز **باللب** وهو أكثر الأغلفة الثلاثة كثافة. واللب عبارة عن كتلة تتكون أساسا من فلز الحديد، بالإضافة إلي كميات قليلة من النيكل وعناصر أخرى.

ويطلق على الغلاف السميك المحيط **باللب** والمكون من مواد صخرية كثيفة**. الوشاح** وهوأقل كثافة من اللب، ولكن أكبر كثافة من الغلاف الذي يليه للخارج. ويوجد فوق الوشاح الغلاف الأقل سمكا وهو **القشرة**، والتي تتكون من مادة صخرية أقل كثافة من صخور الوشاح الموجود أسفلها.

أن **اللب والوشاح** سمكهما ثابت تقريبا. أما **القشرة** فتكون غير منتظمة السمك، حيث يبلغ متوسط سمك القشرة المحيطة حوالي ٨ كم بينما يبلغ متوسط سمك القشرة القارية نحو ٤٥ كم، ويتراوح بين ٣٠ و ٧٠كم. وعلى الرغم من أننا لانستطيع رؤية أو أخذ عينات من اللب أو الوشاح، إلا انه يمكننا عن طريق قياس السرعات التي تسير بها الموجات الزلزالية عبر الأرض أن نعرف أن كوكب الأرض الصلب ليس له تركيب متجانس، وأن الرض تتكون من عدة أغلفة ذات كثافات مختلفة. ويمكن تحديد تركيب الأغلفة المختلفة للأرض من معرفة كثافتها. وتوضح العينات التي أخذت من القشرة أنها مختلفة في التركيب عن الوشاح. أي أن التركيب الكلي للقشرة، وكذلك الكثافة تختلف عن تلك التي قدرت للوشاح.

كما لوحظ أن تحديد تركيب لب الأرض أكثر صعوبة، وذلك يرجع إلي أن درجات الحرارة تكون عالية ، كما يكون الضغط مرتفعا إلي حد أنها تغير من الخصائص التي نعرفها للمواد. وتأتي بعض الأدلة المهمة المتعلقة بتركيب لب الأرض من النيازك الحديدية، حيث يعتقد أن تلك **النيازك** وهى فتات من لب كوكب أرضي صغير تفتت بسبب تصادم ضخم حدث مبكرا في تاريخ النظام الشمسي، وأن هذا الكوكب المفتت كان مقسما إلي أغلفة ذات تركيب مشابه لتلك الموجودة في الأرض وباقي الكواكب الأرضية. ج – أغلفة الأرض المختلفة الخصائص الفيزيائية لايتمايز كوكب الأرض إلي لب ووشاح وقشرة بناءً على الخواص الفيزيائية لمكونات أغلفته، مثل شدة الصخر (أقصى إجهاد يتحمله جسم صلب دون أن يتمزق أو يتشوه تشوها لدنا)، والحالة الصلبة مقابل الحالة السائلة. وتتحكم درجات الحرارة والضغط بدرجة كبيرة في تغير الخواص الفيزيائية أكثر من تحكمها في التركيب الصخري. ومن الجدير بالذكر أن الحدود التي تتغير عندها الخواص الفيزيائية للأرض لاتتطابق بالضبط مع الحدود، التي يتغير عندها التركيب عند الحدود الفاصلة بين القشرة والوشاح واللب.

- <u>اللب الداخلى والخارجي</u>: ينقسم لب الأرض إلي قسمين أحدهما داخلي والآخر خارجي . **أما اللب الداخلي** فتكون الضغوط فيه كبيرة لدرجة أن معدن الحديد المكون له يكون في حالة صلبة، على الرغم من درجة حرارته المرتفعة. ولذا فإن مركز الأرض يكون صلبا، ويرجع السبب في ذلك إلي أن الحرارة التي تبدأ عندها المادة في الانصهار تزداد مع زيادة الضغط. **أما اللب الخارجي** فيحيط باللب الداخلي، وفيه يتوازن الضغط مع درجة الحرارة مما يؤدي إلي أن يكون الحديد المكون له في الحالة السائلة. ويتضح مما سبق أن اللبين الداخلي والخارجي يكونان متفقين في التركيب ومختلفين في الحالة الفيزيائية، حيث يكون اللب الداخلي في الحالة الصلبة بينما يكون اللب الخارجي في الحالة السائلة. - الغلاف الأوسط (الميزوسفير): تتحكم درجة الحرارة والضغط في شدة الجسم الصلب. فعند تسخين جسم صلب فإنه يفقد شدته، بينما تؤدي زيادة الضغط لزيادة الشدة (الصلابة). **ويقسم الوشاح والقشرة** بناءً على درجة الحرارة والضغط إلي ثلاث مناطق مختلفة الشدة، هى من الداخل إلي الخارج: **الغلاف الأوسط (الميزوسفير) والغلاف اللدن (الأسثينوسفير) والغلاف الصخري (الليثوسفير).**

<u>ويقع الغلاف الأوسط (الميزوسفير)</u> : في الجزء الداخلي من الوشاح المجاور للب الأرض بين عمق ٢٨٩١كم ونحو ٣٥٠كم ، ويشتق اسمه من الكلمة اليونانية meso بمعني أوسط وsphere بمعني غلاف. والغلاف الأوسط هو منطقة صلبة، حيث تكون الصخور فيه معرضة لضغوط عاليةن وتتميز بشدة أي بصلابة عالية على الرغم من درجة حرارتها العالية جداً.

الغلاف اللدن (الأسثينوسفير):

ويوجد في الجزء العلوي من الوشاح ، ويمتد من عمق ٣٥٠كم إلي مابين ١٠٠ أو ٢٠٠كم أسفل سطح الأرض، ويشتق اسم الغلاف اللدن (الأسثينوسفير)من الكلمة اليونانية asthenos بمعني ضعيف وsphere بمعني غلاف.

ويتميز بأن شدة الصخور تكون فيه قليلة نتيجة التوازن بين درجة الحرارة والضغط، كما تكون الصخور ضعيفة وسهلة التشوه، مثل الزبد أو القطران الدافيء بدل أن تكون قوية مثل تلك الموجودة في الغلاف الأوسط. ويلاحظ أن تركيب الغلافين الأوسط واللدن واحد، حيث يتكونان من المواد نفسها، بينما يختلفان في الشدة. فتكون الصخور في الغلاف اللدن لدنة، بينما تكون في الغلاف الأوسط صلبة.

الغلاف الصخري (الليثوسفير):

ويوجد فوق الغلاف اللدن، ويشمل كل المنطقة الخارجية الصلبة للأرض والتي تتكون من الجزء العلوي للوشاح وكل القشرة الأرضية. ويشتق اسم الغلاف الصخري (الليثوسفير) من الكلمة اليونانية lithos بمعنى حجر أو صخر sphere بمعنى غلاف. وتكون الصخور فيه صلبة، كما تكون أكثر برودة وقوة وصلابة من تلك الموجودة في الغلاف اللدن. وعلى الرغم من الاختلاف في التركيب بين كل من القشرة والوشاح، إلا أن شدة الصخر وليس تركيبه هى التي تميز الغلاف الصخري عن الغلاف اللدن.

ويوضح هذا الاختلاف في طبيعة أغلفة الأرض، أن الغلاف الصخري يعمل كغلاف صلب قابل للكسر بينما ينساب الغلاف اللدن الموجود أسفله كمادة لدنة. فالاختلاف في الشدة بين صخر في الغلاف الصخري وصخر آخر في الغلاف اللدن هو عاملا الضغط ودرجة الحرارة المؤثران على كل منهما. وتفقد كل أنواع الصخور شدتها وتصبح قابلة للتشوه عند عمق ١٠٠كم عند قاعدة الغلاف الصخري تحت المحيطات، أو عند عمق نحو ٢٠٠كم عند قاعدة الغلاف الصخري تحت القارات.

– **نشأة القارات والمحيطات والغلاف الجوي** :بصرف النظر عن الحرارة التي نشأت عن الاصطدامات التي حدثت أثناء المرحلة الأولى لتكون الأرض، فقد كان هناك مصدران دائمان للحرارة عبر تاريخ الأرض، أحدهما داخلي نتج معظمه من النشاط الإشعاعي والآخر خارجي نتج عن الطاقة الشمسية ، فإن الحرارة الداخلية تسبب انصهار الصخور والنشاط البركاني، كما تعطي الطاقة اللازمة لبناء وحركة الجبال على امتداد صدوع الدسر لأعلى. أما الحرارة الخارجية فإنها تكون مسئولة عن المناخ وحالة الطقس، والتجوية وسقوط الأمطار وحركة الرياح التي تعمل على تعرية الجبال وتشكيل صفحة الأرض.

القارات:

بدأ نمو القارات بعد مرحلة تمايز أغلفة الأرض مباشرة، واستمر ذلك النمو خلال الزمن الجيولوجي. وعموما، فإن معلوماتنا عن السبب في تكون القارات مازالت في بدايتها. ويعتقد كثير من العلماء أن الصهارة تصاعدت من باطن الأرض المنصهر إلي السطح لتبرد وتتصلب وتكون قشرة من الصخور وقد انصهرت تلك القشرة الابتدائية وتصلبت مرارا وتكرارا لتسمح للمواد الخفيفة الأقل كثافة لتنفصل تدريجيا عن المواد الثقيلة وتطفو نحو السطح لتكون النواة الأولى للقارات. وقد تسببت مياه الأمطار وبقية مكونات الغلاف الجوي في تحلل وتفكك الصخور، حيث عملت المياه والرياح والجليد على تفكك الصخور ونقل الحطام الصخري إلي الأماكن المنخفضة ليجتمع في هيئة طبقات سميكة تكون الشواطيء والدلتات وقيعان البحار المجاورة. وقد أدى تكرار هذه العملية في عدد غير محدود من الدورات إلي تكون القارات.

المحيطات والغلاف الجوي:

يعتقد معظم الجيولوجين أن أصل مياه المحيطات والغلاف الجوي يرجع إلي الأرض نفسها، حيث تكونت المياه والغازات أثناء عمليات التسخين والتمايز، بينما يعتقد قلة أخرى من الجيولوجين أن أصل مياه المحيطات والغلاف الجوي يرجع لسبب خارجي، أي إلي المذنبات. فعندما قذفت الأرض في المرحلة المبكرة لتكونها بعدد لايحصى من المذنبات المحملة بالمياه والغازات، تكونت المحيطات الأولية والغلاف الجوي.

ويعتقد الجولوجيون الذين يرجعون أصل المحيطات والغلاف الجوي إلي الأرض نفسها أن الماء موجود أصلاً في بعض المعادن كأكسجين وهيدروجين مرتبطان كيميائيا في تلك المعادن، كما يوجد النيتروجين أيضا مرتبطا كيميائيا في معادن أخرى. وأثناء تسخين الأرض وانصهار مكوناتها جزئيا انطلق بخار الماء والغازات الأخرى لتحملها الصهارات إلي السطح وتنطلق أثناء النشاط البركاني. فربما كانت الغازات المنبعثة من البراكين منذ نحو ٤ بليون سنة مكونة من المواد نفسها التي تقذفها البراكين اليوم مثل بخار الماء والهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والنيتروجين والقليل من الغازات الأخرى. وهكذا، فإن الغلاف الجوي الأولى للأرض كان مختلفا تماما عن الغلاف الجوي الحالي، والذي يتكون أساسا من النيتروجين والكسجين. وربما تكونت كميات مناسبة من الأكسجين الحر بعد بدء الحياة نتيجة لعمليات البناء الضوئي التي قامت بها الطحالب، والتي تعتبر أحد أبسط أشكال الحياة وحيدة الخلية.

أحواض المحيطات:

من الملامح المهمة لكوكب الأرض وجود القارات وأحواض المحيطات على سطحه. وتغطي المحيطات نحو ٧١% من سطح الأرض، ويبلغ متوسط العمق فيها نحو ٣,٧كم، بينما تغطي اليابسة نحو ٢٩% المتبقية من سطح الأرض. ويقسم قاع المحيط ابتداء من خط الشاطيء حتى أعمق نقطة في الحوض المحيطي إلي أربعة أقسام، وهى: **الرف القاري والمنحدر القاري والمرتفع القاري والسهل السحيقي** . **أما الرف القاري** فهو الحافة لطيفة الانحدار التي تحيط بالقارات وتمتد من خط الشاطيء في اتجاه البحر، وتكون مغمورة بماء المحيط الضحل نسبيا. ويختلف عرض الرف القاري بدرجة كبيرة. فهو قد لايتواجد مطلقا حول بعض القارات، بينما قد يمتد لمسافة قد تصل إلي ١٥٠٠كيلومتر حول قارات أخرى. ويكون عرض الرف القاري في المتوسط نحو ٨٠كيلومترا، وقد يصل إلي ١٣٠مترا عمقا. ويكون انحدار الرف القاري لطيفا لدرجة أنه يبدو للناظر كأنه سطح أفقي. ويلي الرف القاري **المنحدر القاري** ويبلغ عرضه نحو ٢٥كم، ويتميز بانحدار حاد مقارنة بالرف القاري. أما الارتفاع القاري والذي يمتد من المنحدر القاري في اتجاه البحر حتى السهل السحيقي. ويمتد الارتفاع القاري لمئات الكيلومترات حتى حوض المحيط العميق. ويكون الارتفاع القاري جزءا مميزا من قاع المحيط، ويتكون من قشرة محيطية مغطاة بالرواسب الناتجة عن تعرية كتلة القارة المجاورة. **ويشمل السهل السحيقي** المساحة الكبيرة المنبسطة من قاع المحيط، والتي تمتد في العرض من ٢٠٠ حتى ٢٠٠٠كم، ويتراوح عمقها بين ٣ إلي ٦كم تحت سطح المحيط. ويتكون السهل السحيقي من تراكم الرواسب التي تحركت أسفل المنحدرات من الرف القاري إلي قاع المحيط العميق. ويرتفع أحيانا من تلك السهول براكين خامدة غالبا تعرف بالجبال البحرية. وقد يرتفع القليل من هذه الجبال لتكون جزرا بركانية. وعلى الرغم من أن المرتفعات القارية لا تتواجد بها تقريبا أي ملامح مميزة، إلا أن أسطحها تكون مقطوعة أحيانا بأخاديد خانقة بحرية أو براكين بحرية لم تدفن تماما تحت الرواسب.

ومن المعالم المميزة لقيعان المحيطات **الحيود المحيطية والخنادق المحيطية**. **أما الحيود_المحيطية** والتي تعرف أيضا بالحيود وسط المحيطية أو المرتفعات المحيطية، فهى سلاسل جبلية صخرية تكون مستمرة على قيعان المحيطات، حيث يبلغ ارتفاعها حوالي ٠,٦كم أو أكثر فوق قاع المحيط . وتتفرع الحيود المحيطية في نمط معقد في الأحواض المحيطية. **أما الخنادق_المحيطية**: فهى الأماكن على قيعان المحيطات التي يغوص عندها الغلاف

الصخري في الوشاح، وتكون عبارة عن أحواض طويلة وضيقة وعميقة في قاع المحيط، جوانبها شديدة الانحدار، وتمثل أعمق أجزاء المحيط. وتكون الخنادق المحيطية عادة موازية لحافة قارية أو للجزر البركانية التي تتخذ شكل أقواس . وتوجد معظم الخنادق في المحيط الهاديء، حيث يصل عمق بعضها أو أجزاء منها إلي حوالي ١٠٠٠٠متر.

– ديناميكية عمل كوكب الأرض:

الأرض دائبة الحركة من المعروف أن الأرض مرت عبر تاريخها الطويل بكثير من التغيرات. وهنا يبرز سؤال مهم وهو: ماهى القوى المحركة لتلك الأحداث؟ وتكمن الإجابة في نظرية تكتونية الألواح. وتفترض هذه النظرية أن الغلاف الصخري الصلب الخارجي للأرض مقسم إلي عدد من القطع الصلبة، التي تتحرك جانبيا ببطء وتعرف بالألواح. ونتيجة لحركة تلك الألواح فإنها تتفاعل مع بعضها بعضا عند حوافها باستمرار، مما ينشأ عنه نشاط زلزالي وبنائي على امتداد تلك الألواح. وميكانيكية حركتها وتداخلها واستهلاكها لبعضها البعض، كما تفسر كيف تكونت القارات وأيضا النشاط الزلزالي والبركاني والحركات البانية للجبال وغيرها من الظواهر الجيولوجية التي تحدث على الأرض.

وتفترض نظرية تكتونية الألواح أن الكرة الأرضية مغلفة تماما بالغلاف الصخري الصلب، والذي ينقسم إلي سبعة ألواح كبيرة وعدد من الألواح الصغيرة . ويختلف سمك الألواح بين ١٠٠ إلي ٢٠٠كم في الألواح المكونة من الوشاح العلوي والقشرة القارية، بينما في الألواح المكونة من الوشاح العلوي والقشرة المحيطية يتراوح السمك بين ١٠كم عند الحيود المحيطية و١٠٠كم في أحواض المحيطات العميقة. وتتحرك كل الألواح جانبيا كوحدات متماسكة مستقلة فوق الغلاف اللدن (الأسثينوسفير)، والذي يكون في حالة حركة أيضا. بمعنى أن الألواح لاتتجعد أو تطوى، مثل قطعة الورق المبللة وإنما تسلك ألواح الخشب الصلبة نسبيا فوق سطح الماء. وتتراوح سرعة الألواح من ١ إلي ١٢سم في العام. ويمكن أن تنثني الألواح قليلاً، ممايسبب حدوث التواءات لطيفة لأعلى أو لأسفل في القشرة الأرضية. وتعتبر حدود الألواح هى الأماكن الوحيدة التي يحدث فيها تشوه شديد، حين تصطدم الألواح ببعضها بعضا.

حركات الألواح يرجع السبب في حركة الألواح إلي باطن الأرض مازال ساخنا، كما أن الغلاف اللدن (الأسثينوسفير) ساخن أيضا وقابل للتشكل، على الرغم من أنه في حالة صلبة تقريبا. ويتميز الغلاف اللدن بقدرته على الانسياب تحت تأثير القوى التي تسببها تيارات الحمل الدوراني. وتيارات الحمل الدوراني هى الميكانيكية التي تنتقل بها الحرارة التي تسبب صعود المواد الساخنة الأقل كثافة وهبوط المواد الباردة الأكثر كثافة. والحمل الدوراني هو خاصية مميزة للسوائل والغازات، حيث تشاهد تيارات الحمل الدوراني في الماء المغلي في كأس به ماء، وكذلك الدخان المتصاعد من المدفئة، وصعود الهواء الساخن إلي أعلى نحو سقف الغرفة وهبوط الهواء البارد إلي أرضية الغرفة. وتحدث حركة الحمل الدوراني في أي مادة منسابة سائلة كانت أم صلبة قابلة للتشكل حينما تسخن من أسفل وتبرد من أعلى. وقد أظهرت التجارب أن الصخور لاتبدأ في الانصهار قبل أن تنساب، وقد تنساب الصخور، إذا كانت ساخنة بدرجة كافية، مثل السوائل اللزجة. مع ملاحظة أن معدلات الانسياب تكون بطيئة للغاية، وكلما ارتفعت درجة الحرارة كان الصخر أكثر ضعفا، وأكثر قابلية للانسياب. وتصعد السوائل والمواد الصلبة الساخنة تحت تأثير قوى الطفو، لأنها أصبحت أقل صلابة من المادة التي تعلوها. وتفقد المادة الحرارة وتبرد أثناء حركتها على السطح وتصبح أكثر كثافة، وبالتالي أثقل من المادة الموجودة أسفلها وتهبط تحت تأثير الجاذبية. وتستمر عملية الدوران طالما كان هناك انتقال للحرارة من أسفل إلي أعلى حيث السطح البارد.

– **حدود الألواح** يتواجد الكثير من المعالم الجيولوجية الكبيرة عند حدود الألواح، حيث تتفاعل الألواح مع بعضها البعض. يوجد ثلاثة أنواع من الحدود المعروفة، وهى كالتالي:

١ – **حدود متباعدة:** حيث تنفصل الألواح وتتحرك متباعدة عن بعضها البعض، مما يؤدي إلي نشأة غلاف صخري جديد من االصهارة الصاعدة.

٢ –**حدود متقاربة:** حيث تتصادم الألواح أو يهبط أحدها تحت الآخر ويعود الغلاف الصخري إلي باطن الأرض.

٣ – **حدود الصدع الناقل:** حيث تنزلق الألواح أفقيا أمام بعضها البعض فتطحن وتبرى حوافها نتيجة الانزلاق. وتكون الزلازال شائعة على امتداد حواف الصدوع الناقلة.

كذلك تناول هذا الكتاب موضوع المخلفات الصلبة وزيادة كمياتها والمخلفات السائلة والغازية ومصادرها فضلاً عن كيفية معالجتها خصوصاً مع زيادة عدد المركبات وتنوع مصادر الطاقة والاستهلاك الكبير للمنتوجات الهيدروكاربونية وبشكل متزايد مع ازدياد الحاجة اليها ومع تطور وتعقد الاحتياجات البشرية مع تقدم الزمن .

تناول الكتاب ثمانية عشر فصل حيث تناول: المقدمة ،الفصل الأول: المعادن: الوحدة البنائية للصخور ، فى حين تناول الفصل الثاني: الصخور: سجل العمليات الجيولوجية. تناول الفصل الثالث: الصخور النارية. الفصل الرابع: الرواسب والصخور الرسوبية. الفصل الخامس: الصخور المتحولة: صخور جديدة من أخرى سابقة. الفصل السادس: التجوية والتعرية. الفصل السابع: البراكين. الفصل الثامن: الزلازل وتركيب الأرض. الفصل التاسع: تشوه الصخور: الطيات والصدوع وتراكيب أخرى كسجل لتشوه الصخور. الفصل العاشر: الإنهيار الكتلي. الفصل الحادي عشر: دورة الماء والأنهار. الفصل الثاني عشر: المياه الجوفية. الفصل الثالث عشر: المثالج: عمل الجليد. الفصل الرابع عشر: الرياح والصحاري. الفصل الخامس عشر: الزمن الجيولوجي. الفصل السادس عشر: تكتونية الألواح: نظرية شاملة. الفصل السابع عشر: تكتنوية القشرة الأرضية وسلاسل الجبال.أما الفصل الأخير وهو الفصل الثامن عشر: تناول الثروة المعدنية ومصادر الطاقة ثم المراجع.

نسأل الله سبحانه وتعالى ان يكون هذا الكتاب بين ايديكم من المصادر المفيدة للدارسين لموضوع البيئة وعلاقتها بعلوم الأرض والتاثير المتبادل بين الانسان والطبيعة وتاثير فعاليات الانسان على البيئة ، فضلاً عن ذلك اعد الكتاب ليكون ملائماً لطلبة الجامعات فى الدراسات الاولية والباحثين فى الدراسات العليا والمهتمين بالدراسات البيئية ومصادر التلوث ، خصوصاً ان الكتب والمؤلفات العربية فى هذا الموضوع هى محدودة العدد ومعظمها لم يتناول المشاكل البيئية الحديثة . نعتذر عن اى خلل او قصور ورد فى هذا الكتاب والكمال لله وحده سبحانه وتعالى هدفنا هو نشر الوعى البيئى وتوثيق مصادر المعرفة العلمية الجيولوجية ، والله من وراء القصد .

المؤلف

٢٠١٦/١١/١٥ م

الفصل الأول: الوحدة البنائية للصخور ـ المعادن



تعتبر صخور القشرة الأرضية وأيضا مياه المحيطات مصدرا لعديد من المعادن المهمة. وقد ساهمت المعادن في بناء الحضارة الإنسانية حيث نجد في آثار قدماء المصريين ما يدلنا على أنهم أنشأوا مناجم للذهب منذ آلاف السنين، فقد استخلصوا هذا المعدن النفيس من العروق الحاملة له. كما استعمل قدماء المصريين معدن الهيماتيت الأحمر – وهو أحد معادن الحديد - في طلاء مقابرهم، كما استخلصوا معادن النحاس الأخضر والأزرق، واستخدموها في طلاء مقابرهم وصناعة الأدوات المختلفة منها بعد استخراج فلز النحاس. كما بحث قدماء المصريين عن الأحجار الكريمة واستعملوها في صناعة الحلي للزينة. وتسهم المعادن منذ ذلك التاريخ بنصيب وافر في تطور الحضارة الإنسانية، حتى أن هناك عصورا تعرف باسم المعدن الذي كان الاستخدام شائعاً فيها، مثل عصر الحديد وعصر النحاس، حتى عصرنا الحاضر الذي يعرف بعصر الذرة، والتي نحصل عليها أساسا من تحطيم فلز اليورانيوم المشع.

وبالإضافة إلي الاستخدامات الاقتصادية للصخور والمعادن، فإن كل العمليات التي حدثت في الماضي وتدخل في إطار علم الجيولوجيا مثل: التدفقات البركانية وبناء الجبال والتجوية والتعرية والزلازل، تعتمد بصورة ما على خصائص تلك المواد الرئيسية المكونة للأرض. فتقدم المعادن الموجودة في بعض الأرض عند درجة حرارة عالية قد تصل إلي نحو ١٠٠٠م. أما معادن صخر الجرانيت فإنها تقدم الدليل على تبلور هذا الصخر في أعماق القشرة الأرضية. ويمكن أن نشاهد الظروف الجيولوجية التي تحدث في أعماق القشرة الأرضية في مناطق تصادم لوحين قاريين حيث تؤدي عملية التصادم إلي وجود درجة حرارة قد تصل إلي ٧٠٠م وضغط أكثر من ١٠٠٠٠ مرة ضعف الضغط الجوي العادي عند سطح الأرض، مما يؤدي إلي تكون هذا الصخر في هذا الموضع تحت تلك الظروف.

وتعتبر هذه الطريقة في الاستدلال أساسية حين نحاول فهم جيولوجية منطقة ما، وتحديد أنواع الصخور بها ومحاولة الكشف عن موقع غير مكتشف لراسب مهم اقتصاديا مثل بعض خامات الفلزات.

ويعتبر علم المعادن أحد فروع علم الجيولوجيا، وهو من أهم مصادر الاستدلال الجيولوجي. وهو يتناول دراسة التركيب الكيميائي وبنية وخواص المعادن ومظهرها واستقرارها وأماكن تواجدها، والمعادن الأخرى المصاحبة لها. وسنعرض في هذا الفصل لدراسة المعادن، والتي تعتبر الوحدة البنائية للصخور.

تعريف المعدن :

يعرف الجيولوجيون **المعدن**: بأنه مادة صلبة متبلورة غير عضوية عامة، لها تركيب كيميائي ثابت أو متغير في مدى محدود، تتواجد في الطبيعة. والمعدن هو الوحدة البنائية للصخور، والتي تتكون من مجموعات من المعادن. والمعادن تكون متجانسة، ولا يمكن تقسيمها بالطرق الميكانيكية إلي مكونات أصغر. أما معظم الصخور فيمكن فصلها إلي مكوناتها المعدنية باستخدام وسائل مناسبة. وهناك قلة من الصخور مثل الحجر الجيري تحتوي على نوع واحد من المعادن هو الكالسيت، بينما هناك صخور أخرى، مثا الجرانيت، تتكون ليس من معدن واحد، وإنما من عدد من المعادن. ولكي نعرف ونصنف الأنواع المختلفة من الصخور الموجودة على الأرض وكيف تكونت، فإننا يجب أن ندرس المعادن المكونة لها.

ونعود إلي التعريف السابق للمعدن، فنجد أنه ينص على أن المعدن يتكون من مادة صلبة ومتبلورة، مما يعني استبعاد كل السوائل والغازات. وعندما نقول إن المعدن متبلور، فإننا نقصد أن الجزيئات الصغيرة المكونة له – الذرات- تكون مرتبة بنظام ثابت في الأبعاد الرئيسية الثلاثة. وتوصف المواد الصلبة التي ينقصها الترتيب المذكور بأنها مادة زجاجية أو غير متبلورة. فزجاج النوافذ يكون غير متبلور مثله مثل بعض الزجاج المتكون في الطبيعة خلال ثورة البراكين. وبالتالي فإن كل المواد غير المتبلورة لا تعتبر من المعادن. ولكي يطلق على المادة مصطلح معدن، فإنها يجب أن توجد في الطبيعة. مثل الماسات المستخرجة من مناجم الماس في جنوب إفريقيا. أما الماس المصنع في المعامل فلا يمكن اعتباره من المعادن، مثله مثل آلاف المنتجات الصناعية التي يخلقها الكيميائيون.

ويشترط في المعادن أن تكون من **مواد غير عضوية**، وذلك يرجع إلي استخدام تاريخي للمصطلح يستبعد المواد العضوية التي تكون أجسام النباتات والحيونات من المعادن، حيث إن هذه المواد العضوية تكون مكونة من كربون عضوي، وهوأحد أشكال الكربون الموجود في كل المواد العضوية. وقد تتحول بقايا النباتات المتللة إلي الفحم، الذي هو بالتالي مكون من كربون عضوي. وعلى الرغم من أن هذا الفحم يوجد في الطبيعة أيضا، إلا أن العرف جرى على عدم اعتباره من المعادن. وعلى الجانب الآخر، فهناك عديد من المعادن التي تفرزها الكائنات الحية، والتي تحتوي على كربون غير عضوي، مثل معدن الكالسيت الذي تفرزه العديد من الكائنات الحية لتكون هياكلها وتبنى منه صخور الحجر الجيرى. ويكون الكالسيت في هذه الحالة غير عضوي ومتبلور، وينطبق عليه تعريف المعدن.

كما يجب أن يكون للمعدن تركيب كيميائي، قد يكون ثابتا أو متغيرا في حدود معينة. مما يعني استبعاد الزجاج حيث إن له تركيبا غير ثابت، وكذلك المخاليط التي لا يمكن التعبير عنها بصيغة كيميائية محددة. فالتركيب الكيميائي لمعدن الكوارتز مثلاً عبارة عن ذرتي أكسجين وذرة واحدة من السيليكون. وهذه النسبة ثابتة لا تتغير أبدا، على الرغم من أن الكوارتز يوجد في الكثير من الصخور المختلفة التركيب. أما معدن الأوليفين فيتكون من عناصر الحديد والماغنسيوم والسيليكون بنسبة ثابتة أيضا. وعلى الرغم من أن نسبة ذرات الحديد إلي الماغنسيوم في هذا المعدن يمكن أن تتغير، إلا أن مجموع هذه الذرات إلي عدد ذرات السيليكون يكون ثابتا دائما. ويستخدم مصطلح مجموعة معدنية لوصف المعدن الذي يحدث فيه إحلال كاتيوني، دون تغير في نسبة الكاتيونات إلي الأنيونات.

أشباه المعادن: يوجد في الطبيعة بعض مركبات صلبة لا ينطبق عليها تعريف المعدن، لأنه ينقصها التركيب الكيميائي المحدد أو الثابت أو البنية البلورية أو كلاهما. ومن أمثلة ذلك الزجاج الموجود في الطبيعة والذي يكون تركيبه الكيميائي غير ثابت ومتغير وغير متبلور. ومن أمثلة ذلك أيضا الأوبال، والذي يكون له تركيب كيميائي ثابت ولكنه غير متبلور. ويطلق مصطلح شبه معدن لوصف مثل هذه المواد.

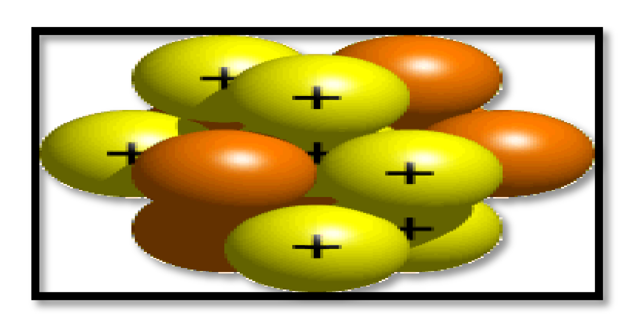
المعادن وتركيبها الكيميائي:

يبلغ عدد العناصر المعروفة في الوقت الحاضر أكثر من مائة عنصر، بينما يبلغ ما تم تحضيره منها إلي الآن نحو ١٨ عنصرا. وتتكون معظم المعادن من عنصرين أو أكثر تتحد معا لتكون مركبا ثابتا، بينما يتكون القليل منها من عنصر واحد فقط مثل: الذهب والماس والجرافيت. وتتحد العناصر مع بعضها لتكوين مركبات، ولنفهم كيف يتم ذلك فلابد أن نفهم تركيب الذرة. **فالذرة** هى أصغر وحدة في بناء العنصر وتحتفظ بخواصه الفيزيائية والكيميائية. كما أنها أصغر وحدات المادة التي تدخل في التفاعلات الكيميائية، إلا أن الذرة نفسها يمكن أن تنقسم إلي وحدات أصغر.

ولنتعرف المعادن بصورة واضحة، فإننا يجب أن نفحص أهم خاصيتين للمعادن وهما :**التركيب** (أي مجموعة العناصر الكيميائية الموجودة بالمعدن وخصائصها) وكذلك **البنية البلورية** (أي الطريقة التي يتم بها ترتيب ورص ذرات العناصر الكيميائية في شكل هندسي منتظم الأبعاد لتكون المعدن). ونظرا لأن معظم المعادن تحتوي على العديد من العناصر الكيميائية، فإنه من الأفضل أن تبدأ مناقشتنا باستعراض سريع لتركيب الذرات والطريقة التي تتحد بها العناصر الكيميائية لتكون المركبات:

أ – تركيب الذرات :

يتيح فهم تركيب الذرة التنبؤ بكيفية تفاعل العناصر الكيميائية مع بعضها بعضا لتكوين بنيات بلورية جديدة. وتتكون كل ذرة من نواة تتوسطها وتحتوي على البروتونات والنيترونات التي تمثل كامل كتلة النواة. وكتلة البروتون تساوي كتلة النيترون تقريبا، ولكن تحمل البروتونات شحنات كهربائية موجبة (+١) بينما لا تحمل النيترونات أي شحنة، أي تكون متعادلة الشحنة. وقد تحتوي ذرات العنصر الواحد على عدد مختلف من النيترونات في نظائر العنصر المختلفة، بينما يكون عدد البروتونات ثابتا لا يتغير للعنصر الواحد. ويحيط بالنواة سحابة متحركة من الإلكترونات لها كتلة متناهية في الصغر، يمكن إهمال كتلتها، ويحمل الإلكترون شحنة كهربية سالبة واحدة (-١). ويعادل عدد البروتونات في نواة أي ذرة نفس عدد الإلكترونات التي توجد في السحابة الخارجية حولها، وبذلك تصبح أي ذرة متعادلة كهربيا. وتحدد الأبحاث الحديثة لتركيب الذرة مواقع الإلكترونات. وتنتظم الإلكترونات حول النواة في مدارات، تكون كأغلفة كروية أو كسحابة من الإلكترونات السالبة الشحنة تحيط بالنواة، وليس كمدرات ثابتة، وللتسهيل فإننا نرسم المدارات كدوائر متحدة المركز حول النواة .



ب – العدد الذري والكتلة الذرية :

يطلق على عدد البرتونات في نواة أي ذرة اسم العدد الذري أو الرقم الذري، وحيث إن كل ذرات العنصر الواحد يكون بها نفس العدد من البرتونات، فإنها يكون لها بالتالي العدد الذري نفسه. فكل الذرات التي تحتوي على ستة بروتونات هى ذرات عنصر الكربون (العدد الذري ٦)، وكل الذرات التي تحتوي على ثمانية بروتونات هى ذرات أكسيجين وهكذا. ويحتوي كل عنصر على عدد من الإلكترونات مساو لعدد البروتونات في نواة الذرة. ويحدد العدد الذري للنصر طريقة تفاعله كيميائيا مع بقية العناصر.

أما الكتلة الذرية أو الوزن الذري لعنصر ما فهو مجموع كتل البروتونات والنيترونات المجودة في نواة تلك الذرة. وقد تحتوي ذرات العنصر الكيميائي نفسها على أعداد مختلفة من النيترونات، ويكون لها بالتالي كتل ذرية مختلفة، ويطلق على هذه الأنواع المختلفة من الذرات اسم النظائر. فنظائر عنصر الكربون التي تحتوي على ستة بروتونات، تحتوي على ٦ أو ٧ أو ٨ نيترونات، وبالتالي تكون هناك ثلاث كتل ذرية لهذه النظائر الثلاثة وهى كربون – ١٢ و١٣ و١٤ على التوالي . ويتواجد العنصر الكيميائي في الطبيعة كخليط من نظائره المختلفة، وبالتالي فإن الكتل الذرية لا يمكن أن تكون رقما صحيحا. فالكتلة الذرية لعنصر الكربون هى ١٢,٠١١ وهى قريبة من الرقم ١٢ لأن نظير الكربون -١٢ هو الأكثر شيوعا عموما. وتحدد العمليات الجيولوجية نسبة تواجد النظائر المختلفة لعنصر ما على الأرض، مما يزيد من معدل انتشار بعض النظائر عن النظائر الأخرى. فالكربون -١٢ مثلاً تفضله بعض التفاعلات الحيوية مثل البناء الضوئي حيث يتم إنتاج مركبات كربون عضوية من مركبات كربون غير عضوية.

التفاعلات الكيميائية :

يحدد تركيب الذرة تفاعلاتها الكيميائية مع الذرات الأخرى. فالتفاعلات الكيميائية هى تفاعلات لذرات عنصرين كيميائيين أو أكثر بنسب ثابتة لتنتج مواد كيمائية جديدة هى المركبات الكيميائية. فعندما تتحد ذرتا هيدروجين مع ذرة أكسجين، يتكون مركب كيميائي جديد اسمه الماء. وقد تختلف خصائص المركب الكيميائي الناتج كلية عن العناصر المكون منها. فمثلا، عندما تتحد ذرة صوديوم مع ذرة كلور يتكون كلوريد الصوديوم، والمعروف باسم

ملح الطعام. ويعبر عن هذا المركب بالصيغة الكيميائية.NaCI. وتحدث التفاعلات الكيميائية بالتفاعل بين الإلكترونات الموجودة في مداراتها الخارجية. وحيث إن معظم ذرات العناصر تحتوي على عدد من الإلكترونات أقل من الحد الأقصى الذي تسمح به مداراتها، فإن كل الذرات تميل إلي أن تكمل مداراتها الخارجية لتصبح مستقرة كيميائيا مثل الغازات الخاملة كالنيون والأرجون. وتعني قاعدة الثمانيات أن تتحد الذرات ببعضها ببعض بحيث يناظر تركيب الإلكترونات بها ما هو موجةد في أقرب غاز خامل لها، حيث يحتوي المدار الخارجي لها على ٨ إلكترونات. لذلك فإن هذه الغازات مستقرة كيميائيا ولا تتفاعل مع بعضها البعض أو مع غيرها من العناصر. ولكي نفهم هذه التفاعلات فإننا نحتاج لمعرفة عدد الإلترونات في ذرة ما، وكيفية ترتيبها في أغلفة الإلكترونات:

<u>أ – اكتساب أو فقد الإلكترونات:</u>

تنتظم الإلكترونات حول نواة الذرة في مجموعة من الأغلفة المتحدة المركز، والتي تعرف بأغلفة الإلكترونات (المدارات)، حيث يحتوي كل منها على عدد محدد من الإلكترونات. وفي التفاعلات الكيميائية لمعظم العناصر، فإن الإلكترونات الموجودة في الأغلفة الخارجية هى التي تدخل في التفاعلات فقط. ففي التفاعل بين الصوديوم والكلور ليكونا ملح الطعام، فإن الصوديوم يفقد إلكترونا من الغلاف الخارجي، بينما تكتسب ذرة الكلور هذا الغلكترون في غلافها الخارجي .

<u>الأيونات:</u> يؤدي اكتساب أو فقد الذرة لأحد إلكتروناتها الخارجية أن تصبح غير متعادلة كهربيا. فعندما تفقد ذرة الصوديوم إلكترونا فإنها تتحول إلي أيون صوديوم يحمل شحنة كهربائية موجبة (+١). ويرمز للأيون بالرمز (Na) وعندما تكتسب ذرة الكلور إلكترونا، فإنها تصبح أيون كلور يحمل شحنة كهربائية سالبة واحدة (-)، ويرمز له بالرمز (CI). وتسمى الأيونات الموجبة كاتيونات مثل أيون الصوديوم، بينما تسمى الأيونات السالبة أنيونات مثل أيون الكلور. أما المركب الكيميائي كلوريد الصوديوم فإنه يكون متعادلا كهربيا، لأن الشحنة الكهربية على الصوديوم تتعادل تماماً مع الشحنة السالبة على الكلور. ويتحد عدد من الأيونات ليكون أيونات مركبة مثل أيون الكبريتات الشائع، وهو أحد مكونات معدن الأنهيدريت، وهو مركب شائع في ماء البحر. وأيون الكبريتات عبارة عن وحدة مكونة من أيون كبريت واحد يحمل ست شحنات موجبة وأربعة أيونات أكسجين يحمل كل منها شحنتين سالبتين لتتبقى شحنتان سالبتان.

<u>أغلفة الإلكترونات واستقرار الأيون:</u> تحتوي ذرة الصوديوم على إلكترون واحد في غلافها الخارجي قبل التفاعل مع الكلور، وعندما تفقد ذرة الصوديوم هذا الإلكترون، فإنها تفقد بالتالي هذا الغلاف ويصبح الغلاف الذي يليه، والذي يحتوي على ثمانية إلكترونات هو الغلاف الخارجي (أقصى ما يحتمله أي مدار هو ثمانية إلكترونات)، وتحتوي ذرة الكلور على سبعة إلكترونات في غلافها الخارجي (قبل التفاعل) مع وجود مكان لإلكترون آخر حتى يصبح عدد الإلكترونات في هذا الغلاف ثمانية إلكترونات. وباكتساب هذا الإلكترون، فإن الغلاف الخارجي لأيون الكلور يصبح مشبعا. وتميل معظم العناصر بقوة إلي أن يكون لها غلاف إلكتروني خارجي مشبع.عن طريق فقد أو اكتساب إلكترونات أثناء التفاعلات الكيميائية.

<u>ب – المساهمة في الإلكترونات :</u>

لا تتفاعل كل العناصر الكيميائية مع بعضها بعضا باكتساب أو فقد إلكترونات، وإنما يكون لدى الكثير منها القدرة على الاتحاد مع بعضها بعضا عن طريق المشاركة في الإلكترونات مع ذرات العنصر نفسه أو عنصر آخر، للوصول إلي الاستقرار المطلوب للإلكترونات. ويميل عنصرا الكربون والسيليكون وهما من أكثر العناصر انتشاراً في القشرة الأرضية، إلي المشاركة في الإلكترونات.

مساهمة إلكترونين من ذرتي كلور ليكونا جزيئا من غاز الكلور. وعندما تتداخل المدارات الخارجية للإلكترونات، فإن أحد الإلكترونات السبعة الموجودة في المدار الخارجي لإحدي ذرتي الكلور تكمل المدار الخارجي للذرة المشاركة معها مكونة الثماني المستقر.

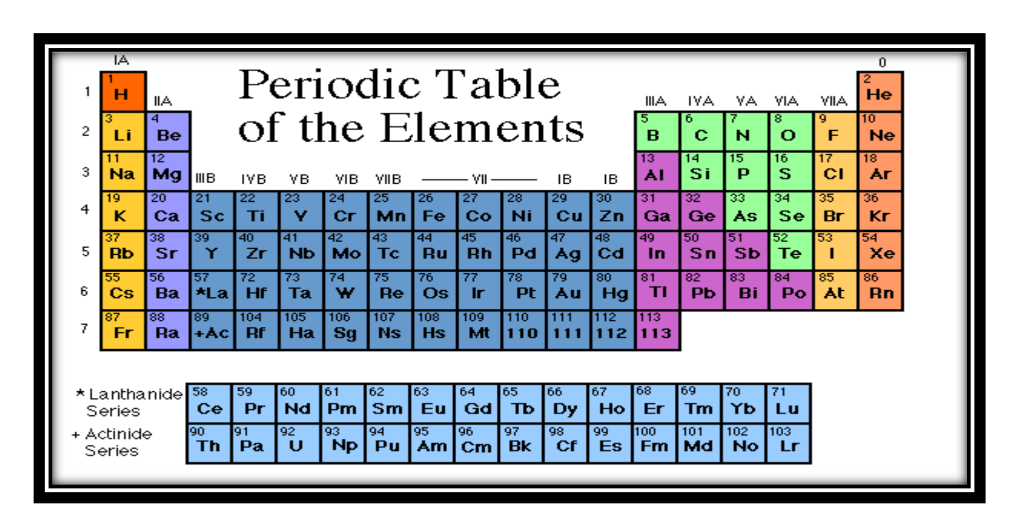
ويتكون معدن الماس من عنصر الكربون فقط. وبكل ذرة كربون أربعة إلكترونات في غلافها الخارجي، وتتشارك كل ذرة كربون مع أربع ذرات كربون مجاورة لها . وعندما تتشارك الإلكترونات، فإن كل الذرات تظهر كما لو أن كل ذرة يدور حولها ثمانية إلكترونات في غلافها الخارجي. ولا يمكن اعتبار هذه الإلكترونات المشاركة اكتسبت أو فقدت. ولا تسمى هذه الذرات بالأيونات، حيث إن الذرات مازالت تمتلك عددها الأصلي من الإلكترونات.

ج – الجدول الدوري للعناصر:

لقد عرف الكيميائيون منذ زمن طويل أن بعض مجموعات العناصر لها الخصائص الكيميائية نفسها، مثل درجة الغليان ودرجة الانصهار والميل للتفاعل كيميائياً مع عناصر أخرى، وتختلف هذه المجموعات بوضوح عن

بعضها البعض. وحينما أصبح التركيب الذري للعناصر معروفاً، فقد اتضح أن الخصائص الكيميائية ترجع إلي تركيب أغلفة الإلكترونات لهذه العناصر.

ويرتب الجدول الدوري العناصر (من اليسار إلي اليمين على امتداد الصف) طبقاً للعدد الذري (عدد البروتونات) مما يعني في الوقت نفسه زيادة عدد الإلكترونات في المدار الخارجي للعناصر في الاتجاه نفسه. فمثلا يبدأ الصف الثالث على اليسار بعنصر الصوديوم (عدده الذري ١١) والذي يحتوي على إلكترون واحد في المدار الخارجي، يليه الماغنسيوم (عدده الذري ١٢) ويحتوي على إلكترونين في المدار الخارجي، فالألومنيوم (عدده الذري ١٣) ويحتوي على ٤ إلكترونات في المدار الخارجي، فالسيليكون (عدده الذري ١٤) ويحتوي على ٤ إلكترون في المدار الخارجي، فالفسفور (عدده الذري ١٥) ويحتوي على ٥ إلكترونات في المدار الخارجي، فالكبريت (عدده الذري ١٦ ويحتوي ٦ إلكترونات في المدار الخارجي، فالكلور (عدده الذري ١٧ ويحتوي على ٧ إلكترونات في المدار الخارجي). والعنصر الأخير في هذا الصف هو الأرجون (عدده الذري ١٨ ويحتوي على ٨ إلكترونات في المدار الخارجي، وهو أقصى عدد ممكن من الإلكترونات في المدار الخارجي. ويكون كل عمود في الجدول الدوري مجموعة رأسية من العناصر، تتميز بغلاف خارجي من الإلكترونات به عدد الإلكترونات نفسه.



العناصر التي تميل لفقد الإلكترونات: تتميز كل العناصر الموجودة في العمود الموجود في أقصى يسار الجدول الدوري بوجود إلكترون واحد في مدارها الخارجي، وتميل بشدة إلي فقد هذا الإلكترون في التفاعلات الكيميائية. ومن هذه المجموعة عناصر الهيدروجين والصوديوم والبوتاسيوم التي توجد بوفرة كبيرة على سطح الأرض، وفي قشرتها الخارجية. ويلي هذه المجموعة الرأسية العمود الثاني من اليسار، والذي يحتوي على عنصرين شائعين أيضا في القشرة الأرضية وهما الماغنسيوم والكالسيوم. وكل العناصر في هذا العمود يوجد بها إلكترونان في المدار الخارجي، وتميل بشدة إلي فقد هذين الإلكترونين أثناء التفاعلات الكيميائية.

العناصر التي تميل لاكتساب الإلكترونات: يشمل العمودان الرأسيان يمين الجدول الدوري مجموعة العناصر التي تميل إلي اكتساب الإلكترونات في مداراتها الخارجية ومنها عنصرا الأكسجين أكثر العناصر انتشاراً في الأرض، والفلور وهو غاز ضار بالصحة. فالعناصر الموجودة في العمود الذي يبدأ بعنصر الأكسجين تحتوي على ٦ إلكترونات في أغلفتها الخارجية وتميل إلي اكتساب إلكترونين ليتشبع مدارها الخارجي بثمانية إلكترونات. أما العناصر التي توجد في العمود الذي يبدأ بعنصر الفلور فتحتوي على ٧ إلكترونات في أغلفتها الخارجية وتميل إلي اكتساب إلكترون واحد.

العناصر الأخرى: تتميز الأعمدة التي توجد أقصى يسار الجدول الدوري، وتلك التي توجد أقصى يمينه بأن لها ميولا مختلفة نحو اكتساب أو فقد أو المشاركة في الإلكترونات. فالعمود الموجود في الناحية اليمنى والذي يبدأ بعنصر الكربون يضم عنصر السيليكون وهو من أكثر العناصر شيوعاً على الأرض. ويميل كل من الكربون والسيليكون، كما لاحظنا سابقا، إلي المشاركة في الإلكترونات. أما العناصر الموجودة في العمود الأخير أقصى اليمين والذي يبدأ بعنصر الهيليوم فإن أغلفتها الخارجية تكون مشبعة بالإلكترونات ولا تميل لاكتساب أو فقد إلكترونات. ولذلك فإن هذه العناصر على عكس بقية العناصر في بقية الأعمدة لا تتفاعل كيميائيا مع العناصر الأخرى إلا تحت ظروف خاصة جدا.

الروابط الكيميائية :

ترتبط أيونات وذرات العناصر التي تكون المركبات الكيميائية المختلفة بقوى كهربية تعمل على جذب الإلكترونات يطلق عليها الروابط الكيميائية. وقد يكون هذا التجاذب قويا أو ضعيفا نتيجة لاكتساب أو فقد الإلكترونات أو المساهمة فيها. وبالتالي، تكون الروابط الناشئة عن هذا التجاذب قوية أو ضعيفة. وتعمل الروابط الكيميائية القوية على حفظ المادة من التحلل إلي عناصرها الأصلية أو إلي مركبات أخرى. وعلاوة على ذلك، فإن هذه الروابط تجعل المعادن صلدة وتحافظ عليها من التكسر أو الفلق. وأكثر الروابط الكيميائية شيوعا في المعادن المكونة للصخور الرابطتان الأيونية والتساهمية:

أ – الروابط الأيونية :

الرابطة الأيونية هى أبسط أنواع الروابط الكيميائية. وتنشأ هذه الرابطة نتيجة للتجاذب بين الأيونات المتضادة الشحنة مثل أيون الصوديوم الموجب وأيون الكلور السالب في كلوريد الصوديوم . وتقل قوة الرابطة الأيونية كثيرا كلما زادت المسافة بين الأيونات، بينما تزداد قوة الرابطة بزيادة الشحنات الكهربية للأيونات. والروابط الأيونية هى أكثر أنواع الروابط الكيميائية شيوعا في المعادن، حيث إن نحو ٩٠% من المعادن هى في الأصل مركبات أيونية.

ب – الروابط التساهمية :

تحدث الروابط التساهمية عندما تكون العناصر مركبات عن طريق التشارك في بعض إلكترونات مداراتها الخارجية دون أن تفقد أو تكتسب إلكترونات. وبصفة عامة فإن الروابط التساهمية تكون أقوى من الروابط الأيونية. والتركيب البلوري لمعدن الماس الذي يتكون من عنصر الكربون فقط، يتماسك عن طريق الروابط التساهمية. وكما رأينا سابقا في معدن الماس، فإن ذرة الكربون يكون بها أربعة إلكترونات في مدارها الخارجي، ويحتاج إلي أربعة إلكترونات أخرى بالمشاركة حتى يصبح المدار الخارجي مشبعا بثمانية إلكترونات . وتكون كل ذرة (وليس أيونا) في معدن الماس محاطة بأربع ذرات أخرى مرتبة على هيئة شكل رباعي الأوجه، وهو هرم مكون من أربعة أوجه، كل وجه عبارة عن مثلث متساوي الأضلاع . وفي هذا الترتيب، فإن كل ذرة كربون تشارك بإلكترون مع كل من الذرات الأربعة المجاورة لها. وبذلك تصل إلي حالة الاستقرار، حيث يوجد في غلافها الخارجي ثمانية إلكترونات. وقد تكون الروابط الكيميائية مرحلة وسطى بين الروابط الأيونية الصرفة والروابط التساهمية الصرفة، لأن بعض الإلكترونات يتم تبادلها والبعض الآخر تتم المشاركة فيه.

التركيب الذرى للمعادن :

تمثل المعادن تجمعا من الذرات مرتبة في شبكة بلورية في الأبعاد الثلاثة في الفراغ،ولا ترى حتى بالميكرسكوب العادي . وتساعد المناقشة السابقة عن الروابط الكيميائية بين الذرات والأيونات إلي فهم أوضح للأشكال المنتظمة التي تميز التركيب الذري للمعادن، وكذلك للظروف التي تكونت فيها المعادن. وتسمى المواد الصلبة التي تتميز بالبنية البلورية بالمواد المتبلورة. وكما سيتضح في هذا الفصل، فإن البنية البلورية للمعادن تعكس خواصها الطبيعية. هذا وسنناقش أولا طريقة تكون المعادن.

أ – طريقة تكون المعادن :

تتكون المعادن بالتبلور أي ينمو جزء صلب من مادة بحيث تتجمع مكوناتها من الذرات مع بعضها البعض حسب النسب الكيميائية الصحيحة والترتيب الذري المنتظم (علينا أن نتذكر أن ذرات المعدن تكون مرتبة في شبكة بلورية ثلاثية الأبعاد). ويمثل ارتباط ذرات الكربون بعضها ببعض في معدن الماس – وهو معدن يتكون بالرابطة التساهمية- أحد أمثلة التبلور والبناء البلوري. وأثناء نمو بلورة الماس، فإن بناءها الذري المكون من رباعيات أوجه من ذرات الكربون تمتد في كافة الاتجاهات بإضافة ذرات جديدة باستمرار في الترتيب الهندسي الصحيح . ومن المعلوم أنه يمكن تصنيع الماس تحت ظروف ضغط عال جدا وحرارة شديدة، والتي تحاكي الظروف في وشاح الأرض.

وأيونات الصوديوم والكلور التي تكون كلوريد الصوديوم – وهو معدن يتكون بالرابطة الأيونية – يمكن أن تتبلور أيضا في صفوف منتظمة في الأبعاد الثلاثة. الترتيب الهندسي لأيونات كلوريد الصوديوم، حيث يحاط كل أيون بستة أيونات من النوع الآخر في سلسلة من ثمانيات الأوجه ممتدة في الأبعاد الثلاثة. ويكون حجم الذرات والأيونات متناهيا في الصغر، حيث يكون معظمها في حدود عدة عشرات من المليون من السنتيمتر، بحيث لا نستطيع أن نرى الترتيب البلوري لمعدن ما حتى باستخدام الميكروسكوبات ذات قوة التكبير العالية. إلا إنه يمكننا الآن أن نصور الترتيب الذري للبلورات باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني ذي قوة التكبير العالية

وتبدأ عملية التبلور عندما تنخفض درجة حرارة السائل إلي درجة تجمد السائل. وفي حالة الماء فإن درجة الصفر هى الدرجة التي تبدأ تحتها بلورات الثلج (وهو معدن) في التبلور. وبالمثل عندما تبرد الصهارة وهى مادة صخرية منصهرة (ساخنة وسائلة)، تبدأ المعادن الصلبة في التبلور منها. فعندما تنخفض درجة حرارة الصهارة تحت درجة الانصهار، والتي قد تكون أعلى من ١٠٠٠م، فإن بلورات المعادن السيليكاتية مثل الأولفين أو الفلسبار تبدأ في التكون.

كما أن هناك مجموعة من الظروف التي تؤدي إلي تبلور المعادن أثناء عملية الترسيب، حينما تبدأ السوائل في التبخر من المحاليل. ويتكون المحلول عندما تذاب مادة كيميائية في مادة أخرى، مثل الملح في الماء. وعندما يبدأ الماء في التبخر من محلول الملح، فإن تركيز الملح يتزايد حتى يصبح المحلول مشبعا بالملح –أي لا يستطيع أن يحتفظ بمزيد من الملح-. فإذا استمر البخر، فإن الملح يبدأ في الترسيب، بمعنى أن ينفصل عن المحلول مكونا بلورات.

وتبدأ عملية التبلور بتكوين بلورات منفردة ميكروسكوبية الحجم. والبلورات أجسام تحدها أسطح مستوية تكونت بفعل الطبيعة (أي ليست صناعية) تعرف **بأوجه البلورة والوجه البلوري في المعدن**: هو انعكاس وتعبير خارجي عن البناء الذري الداخلي للمعدن. وتنمو البلورات الميكروسكوبية أثناء عملية التبلور وتكون محتفظة بالأوجه البلورية المميزة لها طالما أنه يمكنها النمو بحرية دون عوائق. وتتكون البلورات الكبيرة الحجم ذات الوجه البلورية المحددة عندما يكون النمو بطيئا وبهدوء وتتواجد في حيز يسمح لها بالنمو دون تداخل مع البلورات الأخرى القريبة منها . ولهذا السبب، فإن معظم البلورات الكبيرة الحجم تتكون في الفراغات الواسعة في ثنايا الصخور، مثل الكسور المفتوحة أو الكهوف. وفي الغالب فإن الفراغات بين البلورات النامية تكون ممتلئة أو أن عملية التبلور تتم بسرعة، ولذلك تنمو أوجه البلورة حينئذ وتتداخل مع بعضها البعض وتلتحم البلورات سابقة التكوين لتكون كتلة صلبة من الجسيمات المتبلورة. وفي هذه الكتلة المتبلورة، فإن عدداً قليلاً من الحبيبات يمكن أن تكون بعض الأوجه، أو قد تكون الحبيبات المتبلورة عديمة الأوجه تماما.

أما المواد غير المتبلورة (مشتقة من اليونانية بمعنى شكل) والتي تعرف أيضا بالمواد الزجاجية فهى المواد التي تتصلب بسرعة من السوائل (الصخور المنصهرة) بحيث لا يكون بها أي نظام تبلور داخلي. وعلى العكس، فإنها توجد على هيئة كتل لها أسطح غير مستوية ذات مكسر محاري (أسطح مستوية ومنحنية). ومعظم الزجاج الشائع هو زجاج بركاني تكون أثناء النشاط البركاني.

ب – الإحلال الأيوني:

الأحجام النسبية للأيونات في كلوريد الصوديوم، ويتضح منه أنه توجد ستة أيونات متجاورة في الوحدة البنائية الأساسية لكلوريد الصوديوم. وتسمح الأحجام النسبية لأيونات الصوديوم والكلوريد أن تتراص في ترتيب متقارب.

ويتناسب حجم الأيون مع التركيب الذري للعناصر . ويزداد حجم الأيونات مع زيادة عدد الإلكترونات وأغلفة الإلكترونات. كما تؤثر شحنة الأيون على حجمه أيضا. وكلما زاد عدد الإلكترونات التي يفقدها العنصر ليصبح كاتيون، زادت شحنته الموجبة وزادت قوة الجذب الكهربي بين نواته وبين الإلكترونات المتبقية. وتكون معظم كاتيونات المعادن الشائعة صغيرة نسبيا، بينما تكون معظم الأيونات كبيرة، ومثال ذلك أنيون الأكسجين، وهو الأكثر انتشارا في الأرض. وبما أن الأنيونات تكون أكبر من الكاتيونات، فإن معظم فراغ البلورة تشغله الأنيونات، بينما تتوزع الكاتيونات في الفراغات الموجودة بينها. ونتيجة لذلك، تتحدد البنيات البلورية اعتمادا على الطريقة التي تترتب بها الأنيونات، وطريقة وضع الكاتيونات بينها:

١-الإحلال الكاتيوني: بنية بلورية واحدة وتراكيب كيميائية مختلفة.

تستطيع الكاتيونات المتماثلة في الحجم والشحنة أن تحل محل بعضها البعض، وأن تكون مركبات لها البنية البلورية نفسها، ولكن بتركيب كيميائي مختلف. ويشيع الإحلال الأيوني في المعادن السيليكاتية، والتي تتحد فيها الكاتيونات مع أيون السيليكات. ويوضح معدن الأوليفين هذه العملية، وهو معدن شائع في الصخور البركانية.

فأيون الحديد والماغنسيوم تكون متشابهة في الحجم ويحملان شحنتين موجبتين، ولذلك فهما يحلان محل بعضهما بعضا بسهولة في البنية البلورية لمعادن الأوليفين. فتركيب الأوليفين الماغنيسيومي النقي يعرف بالفورشتريت بينما الأوليفين الحديدي النقي يعرف بالفايالايت. ويمكن توضيح تركيب معدن الوليفين المحتوي على كل من الحديد والماغنسيوم والتي تعني ببساطة أن عدد كاتيونات الحديد والماغنسيوم يمكن أن تتغير، إلا أن مجموعهما (والمشار إليه بالعدد السفلي ٢) لا يتغير بالنسبة لكل أيون سيليكات. وتتحدد نسبة الحديد إلي الماغنسيوم بناءً على التواجد النسبي للعنصرين في الصهارة التي يتبلور منها معدن الأوليفين. وفي كثير من معادن السيليكات حيث إن أيوني الألومنيوم والسيليكون متشابهان في الحجم، بحيث يحل اللومنيوم محل السيليكون في عدد من البنيات البلورية. ويتم معادلة الفرق في الشحنات بين الألومنيوم والسيليكون عن طريق زيادة أحد الكاتيونات الأخرى، مثل كاتيون الصوديوم.

٢ – التعدد الشكلي: بنيات بلورية مختلفة وتركيب كيميائي واحد.

من المعروف أن كل معدن بنية بلورية داخلية مميزة. إلا أنه قد تكون للمادة الكيميائية الواحدة أكثر من بنية بلورية، وبالتالي أكثر من نوع من المعادن للمادة الكيميائية نفسها. ويطلق على هذه البنيات البلورية المختلفة للتركيب الكيميائي نفسه اسم متعددة الشكل. ويعتمد تكون البنية البلورية على الظروف المحيطة بالمادة أثناء تبلورها من الضغط ودرجة الحرارة، وبالتالي على العمق الذي توجد عنده المادة أثناء تبلورها تحت سطح الأرض. فالماس والجرافيت (المادة المستخدمة في أقلام الرصاص) معدنان يتميزان بظاهرة التعدد الشكلي، حيث إنهما يتكونان من عنصر الكربون، ولهما بنية بلورية مختلفة ومظهر مختلف تماما . فالماس يتبلور في فصيلة المكعب بينما يتبلور الجرافيت في فصيلة السداسي. وتدل التجارب والمشاهدات الجيولوجية أن الماس يتكون ويبقى مستقرا عند درجات الحرارة والضغوط العالية للغاية الموجودة في الوشاح. حيث يجبر الضغط العالي في الوشاح ذرات الماس على أن تكون متقاربة التعبئة. وبالتالي فإن للماس كثافة عالية جدا وتبلغ ٣,٥جم/سم. ويتكون الجرافيت ويبقى مستقرا عند درجات حرارة وضغط متوسط، مثل ذلك الذي يوجد في القشرة الرضية.

المعادن المكونة للصخور:

صنفت المعادن طبقاً لتركيبها الكيميائي إلي ثماني مجموعات. فبعض المعادن مثل النحاس تتواجد في الطبيعة كعناصر نقية غير متأينة، تعرف بالمعادن العنصرية. أما معظم المعادن فإنها تصنف تبعا لنوع الأنيون المكون لها. فالأوليفين يصنف كسيليكات طبقاً لأنيون السيليكات. ويصنف معدن الهاليت والسيلفيت كهاليدات طبقا لأنيون الكلوريد، والكالسيت طبقا لأنيون الكربونات.

ولقد تمكن العلماء من تعريف حوالي ٣٥٠٠معدن حتى الآن. وتوجد معظم هذه المعادن في القشرة الأرضية، بالإضافة إلي عدد قليل من المعادن التي أمكن تعريفها في صخور النيازك. كما أمكن اكتشاف معدنين جديدين في صخور القمر.

وعلى الرغم من هذا العدد الكبير من المعادن، فإن الشائع منها فقط حوالي ٣٠ معدنا تمثل الوحدات البنائية لمعظم صخور القشرة الأرضية، ولذلك فإنها تسمى المعادن المكونة للصخور. وهذه تتواجد بوفرة في القشرة الرضية. حيث يتكون نحو ٩٩% من القشرة الأرضية من اثنى عشر عنصرا فقط بكميات تزيد نحو ٠,١؟%. وهكذا تتكون القشرة الأرضية من عدد محدود من المعادن، التي تتكون من واحد أو أكثر من تلك العناصر الاثنى عشر الشائعة.

ولا تتواجد العناصر الشحيحة وهى العناصر التي تتواجد بكميات أقل من ٠,١ في القشرة الأرضية كمعادن مستقلة، وإنما تميل إلي أن تتواجد في المعادن المكونة للقشرة الأرضية بالإحلال الأيوني. فعلى سبيل المثال، يحتوي معدن الأوليفين بالإضافة إلي عناصر الماغنسيوم والحديد والسيليكون والأكسجين، وهى العناصر الرئيسية في ذلك المعدن، على كميات قليلة من النحاس والنيكل والكادميوم والمنجنيز، بالإضافة لعديد من العناصر الأخرى نتيجة الإحلال الأيوني للماغنسيوم والحديد.

ونناقش فيما يلى أكثر المعادن المكونة للصخور شيوعاً:

أ – **السيليكات** وهى أكثر المعادن شيوعا في القشرة الأرضية، وتتكون من الأكسجين والسيليكون، وهما أكثر العناصر انتشارا في القشرة الأرضية – وتكون متحدة مع كاتيونات عناصر أخرى.

ب – **الكربونات** وهى معادن مكونة من الكربون والأكسجين في هيئة أيون الكربونات متحدا مع الكالسيوم والماغنسيوم مثل معدن الكالسيت.

ج – **الأكاسيد** وهى مجموعة من مركبات الأكسجين والكاتيونات الفلزية مثل معدن الهيماتيت.

د – **الكبريتيدات** وهى مركبات لأينيون الكبريتيد وكاتيونات فلزية، مثل معدن البيريت.

ه – **الكبريتات** وهى مركبات أنيون الكبريتات وكاتيونات فلزية، وتضم معدن الأنهيدريت.

أما باقي المجموعات الكيميائية من المعادن، والتي تشمل المعادن، والتي تشمل المعادن العنصرية والهاليدات والفوسفات، فإنها لا تتواجد بدرجة تواجد المعادن المكونة للصخور. ونتناول هنا بشيء من التفصيل كل من هذه المجموعات:

أ – السيليكات:

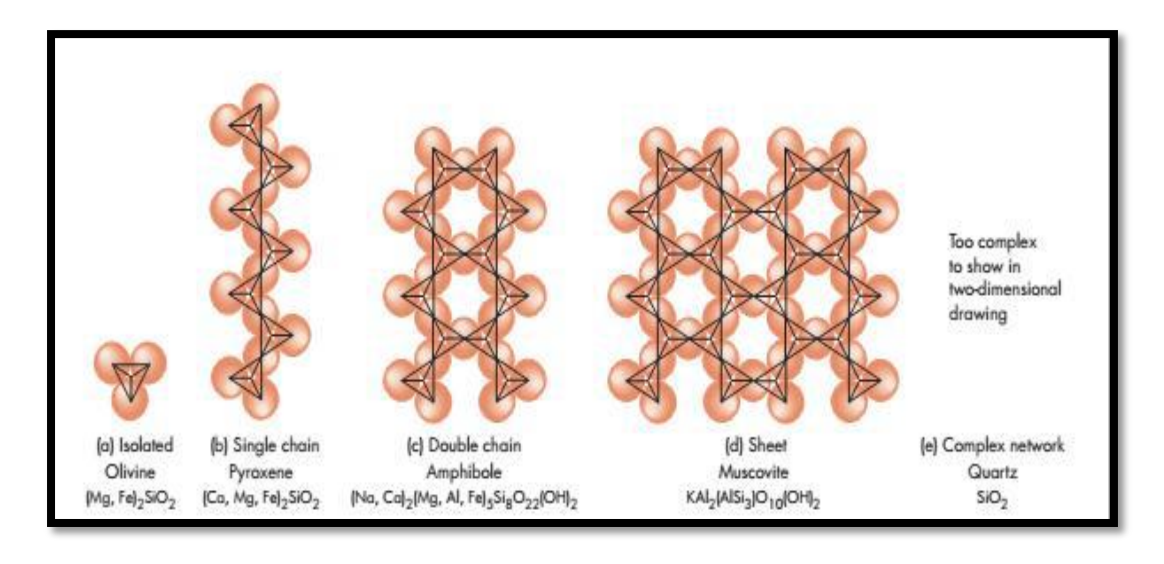
يعتبر أيون السيليكات هو الوحدة الأساسية المكونة لبنية كل معادن السيليكات. ويتكون أيون السيليكات من أربعة أيونات أكسجين تتشارك في الإلكترونات مع أيون السيليكون الأصغر حجما، والذي يقع في الفراغ بين أيونات الأكسجين .

ويؤدي هذا الترتيب لتكوين شكل هرمي مكون من أربعة أوجه، لتكون ما يسمى برباعي الأوجه، وكل وجه في هذا الشكل الهرمي يتكون من مثلث متساوي الأضلاع . ويكون كل ركن من أركان رباعي الأوجه مركزا لذرة أكسجين. ورباعي الأوجه للسيليكون والأكسجين عبارة عن أنيون يحمل أربع شحنات سالبة تتعادل بأربع شحنات موجبة. وليتكون معدن متعادل كهربيا، **فإن هذا التعادل يتم بطريقتين:**

- ارتباط الأيون مع كاتيونات مثل: الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم، والماغنسيوم والحديد.

- مشاركة أيون الأكسجين من رباعيات الأوجه للسيليكون والأكسجين مع رباعيات الأوجه الأخرى.

وتتكون كل معادن السيليكات من رباعيات الأوجه للسيليكون والأكسجين كوحدات أساسية مرتبطة بالطريقتين السابقتين. وقد تكون رباعيات الأوجه مفردة أو مرتبطة في حلقات أو في سلاسل مفردة أو في سلاسل مزدوجة أو في هيئة صفائح أو على هيئة سيليكات هيكلية (إطارية) . وجدير بالذكر أن نسبة ذرات الأكسجين إلي ذرات السيليكون تختلف في بنيات السيليكات المختلفة. ففي رباعيات الأوجة المفردة توجد ٤ ذرات أكسجين لكل ذرة سيليكون. أما في السلسة المفردة فإن نسبة الأكسجين إلي السيليكون تكون ٣ :١. أما في السيليكات الهيكلية (الإطارية) فإن هذه النسبة تكون ٢ : ١. وبالتالي، فكلما زاد عدد ذرات الأكسجين زادت نسبة السيليكون في التركيب. ولذلك توصف معادن السيليكات بأنها عالية أو منخفضة في محتوى السيليكا اعتمادا على نسبة الأكسجين إلي السيليكون. وفيما يلي وصف مختصر لكل من هذه الأنواع من رباعيات الأوجه:



(a) Isolated Olivine $(Mg, Fe)_2SiO_2$ — (b) Single chain Pyroxene $(Ca, Mg, Fe)_2SiO_2$ — (c) Double chain Amphibole $(Na, Ca)_2(Mg, Al, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ — (d) Sheet Muscovite $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ — (e) Complex network Quartz SiO_2

رباعيات الأوجه المفردة: ترتبط رباعيات الأوجه المفردة بالكاتيونات، حيث يرتبط كل أيون أكسجين في رباعي الأوجه بكاتيون . وترتبط الكاتيونات بدورها بأيونات الأكسجين في رباعيات الأوجه الأخرى. وهكذا تعزل الكاتيونات رباعيات الأوجه عن بعضها البعض من كل الجهات. **والأوليفين** هو أحد المعادن المكونة للصخور والمكونة من رباعيات الأوجه المفردة. **ويتكون الأوليفين** عند درجات حرارة عالية، ويكون لونه أسود إلي أخضر زيتوني، وله بريق زجاجي ومكسر محاري. ويتكون من بلورات صغيرة حبيبية المظهر عادة.

ومن المجموعات المعدنية المهمة التي تتميز باحتوائها على رباعيات الأوجه السيليكاتية المفردة **مجموعة معادن الجارنت،** والتي يؤدي الإحلال الكاتيوني فيها إلي تكوين مركبات أكثر تنوعا من تلك التي شاهدناها في مجموعة الأوليفين. والصيغة العامة لهذه المجموعة هى، حيث يرمز الحرف للكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل: الماغنسيوم أو الحديدوز أو الكالسيوم أو المنجنيز أو أي خليط من تلك الكاتيونات. بينما يرمز الحرف (B) للكاتيونات ثلاثية التكافؤ مثل: اللومنيوم (AI)أو الحديديك (Fe) أو الكروم (Cr) أو خليط منها. ويوجد الجارنت في الصخور المتحولة الموجودة في القشرة القارية، كما قد توجد بلورات كبيرة وجميلة منه في صخور الجرانيت أحيانا. ويتميز الجارنت كذلك بصلادته العالية، ولذلك يستخدم في أحجار الطحن والتلميع وأقراص تقطيع الصخور.

<u>الترابط الحلقي</u>: تتكون حلقات رباعيات الأوجه عندما ترتبط أيونات الأكسجين في كل رباعي أوجه مع رباعيات الأوجه المجاورة لها مكونة حلقات مغلقة . حيث يشارك في هذه الحلقات أيوني أكسجين من كل رباعي أوجه مع رباعيات الأوجه الأخرى (رباعي أوجه واحد على كل جانب). وقد ترتبط في هذه الحلقات ثلاثة أو أربعة أو ستة رباعيات أوجه مع بعضها البعض. **ويتميز معدن الكورديريت** الشائع في الصخور المتحولة بهذه البنية البلورية.

<u>ترابط السلاسل المفردة</u>: تتكون السلاسل المفردة عن طريق المشاركة في أيونات الأكسجين. حيث يرتبط أيونان من الأكسجين من كل رباعي أوجه مع رباعيات الأوجه المجاورة لها، في هيئة سلاسل مفتوحة. ويرتبط السلاسل المفردة مع السلاسل الأخرى المجاورة لها بواسطة الكاتيونات. **وتتكون معادن مجموعة البيروكسين** بهذه الطريقة. فمثلا، **يتكون معدن الإنستاتيت** (أحد معادن مجموعة البيروكسين) من أيونات الحديد أو الماغنسيوم أو كليهما، والتي ترتبط معا في سلسلة من رباعيات الأوجه يحل فيها الحديد والماغنسيوم محل بعضهما البعض، كما هو الحال في مجموعة معادن الأوليفين. ويعبر عن بنية هذا المعدن بالصيغة الكيميائية. ومن أشهر أمثلة معادن البيروكسين معدن الأوجيت.

<u>ترابط السلاسل المزدوجة</u>: قد تترابط سلسلتان مفردتان من سلاسل البيروكسين ليكونا سلسلة واحدة مزدوجة نتيجة للتشارك في أيونات الأكسجين . وترتبط السلاسل المزدوجة المتجاورة معا بواسطة الكاتيونات، لتكون **مجموعة معادن الأمفيبول**، والتي تتميز بوجود مجموعة الهيدروكسيل. **ومعدن الهورنبلند** هو أحد معادن الأمفيبول الشائعة في كل من الصخور النارية والمتحولة. وتركيب معدن الهورنبلند معقد للغاية، حيث يحتوي على أيونات الكالسيوم والصوديوم والماغنسيوم والحديدوز والألومنيوم، ويكون لون معدن الهورنبلند أخضر داكن إلي أسود عادة. ويشبه معدن الهورنبلند معدن الأوجيت في الشكل، إلا أن معدن الهورنبلند يتميز بتكوين بلورات مستطيلة تتقاطع فيها مستويات الانفصام عند نحو ٥٦ و١٢٤، بينما تبدو بلورات معدن الأوجيت كتلية الشكل وتكون مستويات انفصام متعامدة تقريبا على بعضها البعض.

<u>الترابط الصفائحي :</u>
تتكون البنية الصفائحية عندما تتشارك ثلاثة أيونات أكسجين من كل رباعي أوجه مع رباعيات الأوجه المجاورة لها لتتكون صفائح متراصة من رباعيات الأوجه فوق بعضها البعض ، بينما تتواجد الكاتيونات كطبقة فاصلة بين تلك الصفائح المتراصة. **ومعادن مجموعة الميكا ومجموعة معادن الطين** هى أكثر المعادن السيليكاتية الصفائحية انتشارا. وتختلف مجموعة معادن الميكا عن مجموعات معادن السيليكات السابقة، في أن مجموعة معادن الميكا تضم عناصر قلوية (بوتاسيوم أو صوديوم أو ليثيوم)، بالإضافة إلي عدم وجود عنصر الكالسيوم. ويتواجد معدن المسكوفيت في عديد من الصخور، حيث يمثل أحد أكثر معادن السيليكات الصفائحية انتشاراً.ويمكن فصل المعدن في صفائح رقيقة للغاية وشفافة. ومعدن البيوتيت هو أحد معادن الميكا الغنية بالحديد، حيث يتميز أيضا بمظهره الأسود اللامع. وهى الصفة التي تميزه عن بقية المعادن الحديدومغنيسية الداكنة اللون. ومعدن البيوتيت مثل معدن الهورنبلند معدن شائع في الصخور القارية مثل صخر الجرانيت الناري وصخر الشست المتحول.

وتتميز المعادن الطينية بتركيبها الصفائحي، وتكون أكثر انتشارا في حياتنا اليومية من بقية المعادن، حيث تكون جزءاً رئيسيا من تركيب التربة. وتتكون المعادن الطينية عند سطح الأرض عندما يتفاعل الهواء والماء مع المعادن السيليكاتية المختلفة، فتتكسر لتكون معادن الطين ومواد أخرى. وبلورات معادن الطين ميكروسكوبية، ويتم تعرفها فقط باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني. وتتميز معظم معادن الطين بوجود انفصام كامل مواز للصفائح ، ويمكن تمييز أكثر من اثنى عشر نوعا من التركيب الكيميائي. ويمثل معدن الكاولينيت أحد معادن الطين الشائعة في الرواسب، وهو مادة خام رئيسية في صناعة الفخار والخزف والصيني.

وتتكون معادن مجموعة السربنتين من مادة ثلاثية التشكل، لها تركيب كيميائي واحد، ولكنها تكون ثلاثة معادن تختلف في بنائها البلوري وشكلها البلوري، وهى معادن الكريزوتيل والأنتيجوريت والليزارديت، والتي توجد مع بعضها البعض ككتل خضراء دقيقة الحبيبات، وهى تتكون نتيجة تغير معادن الأوليفين أو أي معادن سيليكاتية أخرى. ويطلق على معدن الكريزوتيل، المكون من ألياف بيضاء، والاسم التجاري الأسبستوس.

<u>الترابط أو التشابك الإطاري (الهيكلي):</u>

يحدث الترابط أو التشابك الإطاري (الهيكلي) عندما تتشارك جميع أيونات الأكسجين في كل رباعيات الأوجه مع رباعيات أوجه أخرى لتكون بناءً هيكليا يمتد في الأبعاد الثلاثة. ومن معادن السيليكات ذات البنية الإطارية (الهيكلية) **مجموعتي معادن الفلسبار والسيليكا**، والتي تمثل أكثر المعادن شيوعا في القشرة الأرضية، حيث يكون الفلسبار نحو ٦٠% من كل معادن القشرة القارية، وهو يكون مع الكوارتز نحو ٧٥% من حجم هذه القشرة. كما أن الفلسبار شائع أيضا في صخور قيعان المحيطات.

والفلسبار له التركيب الإطاري (الهيكلي) نفسه للكوارتز، إلا أنه يختلف عنه في أن الكوارتز يتكون من الأكسجين والسيليكون فقط، بينما تحتوي رباعيات الأوجه السيليكاتية في الفلسبار على AI ليحل محل si، وتصبح الصيغة الكيميائية O8(AISi3). ويؤدي ذلك إلي وجود شحنة سالبة زائدة يتم معادلتها بإضافة أيونK+لتصبح الصيغةKAISi3O8، وهو معدن الأرثوكليز أحد أهم معادن مجموعة الفلسبار. وفي معدن الألبيت NaAISiO8، وهو معدن مهم آخر، يعادل أيون الصوديوم الشحنة السالبة بدلا من أيون البوتاسيوم. أما المعدن المهم الثالث في تلك المجموعة فهو معدن الأنورثيت، الذي يحتوي على الكالسيوم بدلا من البوتاسيوم أو الصوديوم. ونظرا لوجود شحنتين موجبتين على أيون الكالسيوم، فلابد أن يحدث تعديل، حيث يتم إدخال أيون ألومنيوم ثاني بدلا من أيون سيليكون آخر لتصبح الصيغة الكيميائيةCaAI2Si2O8 (معدن الأنورثيت).

وحيث إن ذرتي الصوديوم والكالسيوم متقاربتان في نصف القطر، فإن أيون الكالسيوم يحل محل أيون الصوديوم إحلالا كاملا في البنية البلورية ليعطي عددا من المعادن ذات التركيب المتوسط بين معدني الألبيت والأنورثيت. وتعرف هذه السلسلة من المعادن بالبلاجيوكليز.

وتشمل معادن السيليكا معدن الكوارتز، وهو المعدن الشائع الوحيد المكون من الكسجين والسيليكون فقط. ويعتبر ثاني أكسيد السيليكون أبسط السيليكات من الوجهة الكيميائية، ويسمى أيضا سيليكا. ويكون معدن الكوارتز بلورات سداسية الجوانب لها ألوان جميلة، وتنشأ الألوان من وجود كميات ضئيلة من الحديد أو الألومنيوم أو التيتانيوم أو أي عناصر أخرى تتواجد نتيجة الإحلال الأيوني. ويوجد الكوارتز في الصخور النارية والمتحولة والرسوبية. والكوارتز أحد أكثر المعادن انتشارا كحجر كريم ومعدن زينة. كما توجد أنواع معينة من الكوارتز التي تتكون نتيجة الترسيب من محاليل ماء بارد وتكون دقيقة الحبيبات جدا لدرجة أنها تبدو عديمة التبلور. ولا يمكن تعرف البنية البلورية الداخلية التي تميز المعادن إلا باستخدام ميكروسكوبات ذات قوة تكبير عالية أو باستخدام الأشعة السينية أو وسائل بحث أخرى. وتعرف أشكال الكوارتز دقيقة الحبيبات بالكالسيدوني. وتشمل أنواع الكالسيدوني نوعيات ملونة يستعمل بعضها كأحجار شبه كريمة مثل الأجيت، وهو يتميز بوجود راقات ملونة، والفلنت وهو نوع صلد وكتلي، والجاسبر وهو ذو لون أحمر متجانس.

<u>ب – الكربونات:</u>

يعتبر معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم) من أكثر المعادن غير السيليكاتية شيوعا في القشرة الأرضية ، كما يعتبر المكون الرئيسي في مجموعة من الصخور يطلق عليها الصخور الجيرية. والوحدة البنائية الأساسية في المعدن هى أيون الكربونات المكون من ذرة كربون محاطة بثلاث ذرات أكسجين في شكل مثلث. حيث يتشارك أيون الكربون مع أيونات الأكسجين في الإلكترونات. وتترتب مجموعات أيونات الكربونات في صفائح مماثلة إلي حد ما للسيليكات الصفائحية. حيث ترتبط الصفائح مع بعضها البعض بطبقات من الكاتيونات. ففي معدن الكالسيت تفصل طبقات من أيونات الكالسيوم صفائح أيونات الكربونات. كما أن معدن الدولوميت وهو معدن شائع أيضا من نفس صفائح الكربونات المنفصلة عن بعضها بعضا بطبقات متبادلة من أيونات الكالسيوم وأيونات الماغنسيوم.

<u>ج – الأكاسيد:</u>

تتكون معادن الأكاسيد من مركبات كيميائية يرتبط فيها الأكسجين مع ذرات أو كاتيونات لعناصر أخرى، تكون عادة **فلزية** مثل الحديد. وتترابط معظم معادن الأكاسيد أيونيا، حيث تتغير البنيات تبعا لحجم الكاتيونات الفلزية.

وهذه المجموعة لها أهمية اقتصادية كبيرة، حيث إنها تضم خامات معظم الفلزات، مثل الكروم والتيتانيوم، المستخدمة في صناعة المواد الفلزية، كما أن الهيماتيت هو أحد خامات الحديد الأساسية.

ومن المعادن الشائعة الأخرى في هذه المجموعة معدن السبيل، وهو أكسيد يتكون من فلزي الماغنسيوم والألومنيوم. ويتميز هذا المعدن بوجود بنية محكمة التعبئة في صورة المكعب، وله كثافة عالية تصل إلي ٣,٦جم/سم٣، مما يعكس ظروف تكوينه تحت ضغط مرتفع وحرارة عالية. والسبيل الشفاف من المعادن الكريمة التي تشبه الياقوت والسافير، ويوجد ضمن مجوهرات التاج الإنجليزي والروسي.

د – الكبريتيدات:

تضم مجموعة الكبريتيدات الخامات الرئيسية لمعظم المعادن ذات القيمة الاقتصادية مثل النحاس، والزنك والشكل. وتشمل هذه المجموعة مركبات لأيون الكبريتد مع كايتونات فلزية حيث تكتسب ذرة الكبريت في أيون الكبريتيد إلكترونان من غلافها الخارجي. وتبدو معظم معادن الكبريتيدات مثل الفلزات، كما أن كلها تقريبا معتمة. وتختلف بنيات هذه المعادن نتيجة الطريقة التي تتحد بها أنيونات الكبريتد مع الكاتيونات الفلزية. ومعدن البيريت من أكثر معادن الكبريتيدات انتشارا، والذي يطلق عليه كثيرا "ذهب المغفلين" بسبب بريقة الفلزي الأصفر.

هـ - الكبريتات:

يتواجد الكبريت في الكبريتات على هيئة أيون الكبريتات، وهو عبارة عن شكل رباعي الأوجه مكون من ذرة كبريت واحدة فقدت ٦ إلكترونات من مدارها الخارجي ومتحدة مع ٤ أيونات أكسجين لتعطي الصيغة. وأيون الكبريتات هو القاعدة لبنيات عديدة. وهو المكون الأولي للجص. **ويتكون معدن الجبس** نتيجة بخر ماء البحر، حيث يتحد أيونا الكالسيوم والكبريتات وهما أيونان شائعان في ماء البحر، ويترسب الجبس كطبقات في الرواسب، مكونا كبريتات الكالسيوم، (النقطة في هذه الصيغة تعني أن جزيئي الماء مرتبطان مع أيونات الكالسيوم والكبريتات). أما معدن الأنهيدريت والذي يختلف عن معدن الجبس في عدم احتوائه على الماء. وقد اشتق اسم معدن الأنهدريت من كلمة anhydrous والتي تعني "دون ماء". ومعدن الجبس يكون مستقرا تحت درجات الحرارة والضغط المنخفضة السائدة عند سطح الأرض، بينما يكون معدن الأنهدريت مستقرا عند درجات الحرارة الأعلى، وضغوط الصخور الرسوبية المدفونة.

ولا ترجع أهمية البنية البلورية والتركيب الكيميائي للمعادن إلي الحاجة إليها في ترتيب معوماتنا عن المعادن فقط، ولكن للحاجة إليها أيضا في تعرف الخواص الفيزيائية للمعادن وهو ما سنناقشه فيما يلي:

الخواص الفيزيائية للمعادن :

يستخدم الجيولوجيون التركيبات الكيميائية وبنيات المعادن لفهم أصل الصخور التي تكونها هذه المعادن، وبالتالي يمكن فهم طبيعة العمليات الجيولوجية التي تعمل داخل وفوق سطح الأرض. ويبدأ هذا الفهم غالبا في الحقل بمحاولات التعرف وتصنيف المعادن غير المعروفة حيث يعتمد الجيولوجيون على الخواص الكيميائية والفيزيائية التي يمكن ملاحظتها بسهولة إلي حد ما. وقد اعتاد الجيولوجيون منذ القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين حمل أدوات للتحليل الكيميائي الأولى للمعادن في الحقل للمساعدة في التعرف عليها. وأحد هذه الاختبارات استخدام حمض الهيدروكلوريك المخفف على المعدن لرؤية فورانه من عدمه. ويدل الفوران على هروب ثاني أكسيد الكربون مما يعني احتمال أن يكون المعدن كربوناتي التركيب. **وسنستعرض في بقية هذا الفصل الخواص الطبيعية للمعادن التي يدل الكثير منها على قيمتها العملية التطبيقية أو استخدامها كأحجار كريمة:**

١- خواص بصرية Optical properties**:** وهذه خواص تعتمد على الضوء ، ومن أمثلتها البريق ، واللون ، وعرض الألوان ، والتضوء ، والشفافية ، والمخدش.

٢- خواص تماسكية Cohesive properties**:** وهذه خواص تعتمد على تماسك مادة المعدن ومدة مرونتها ، ومن أمثلتها الصلادة ، والإنفصام ، والإنفصال ، والمكسر ، والقابلية للطرق والسحب.

٣- خواص كهرومغناطيسية Electrical and Magnetic properties: وهذه خواص تتوقف على الكهربائية والمغناطيسية ، ومن أمثلتها الكهرباء الحرارية ، والكهرباء الضغطية والمغناطيسية.

٤- الوزن النوعي Specific gravity: أو بمعنى آخر كثافة المعدن بالنسبة لكثافة الماء. ٥- خواص حرارية Thermal properties: تضم هذه الخواص أنواع عدة مثل حرارة التكوين ، وحرارة التبلور ، والتوصيل الحراري ،والتمدد الحراري ، وحرارة الذوبان ، والقابلية للإنصهار . ولكن أهم هذه الخواص بالنسبة للتعرف على المعدن هي خاصية القابلية للإنصهار.

٦- خواص أخرى: مثل المذاق ، الملمس ، والرائحة ، والنشاط الإشعاعي.

١- الخواص البصرية: Optical properties

البريق: Luster

وهو عبارة عن المظهر الذي يبديه سطح المعدن في الضوء المنعكس. أو بعبارة أخرى هو مقدار ونوع الضوء المنعكس من سطح المعدن . والبريق من الخواص الهامة في التعرف على المعدن.ويمكن تقسيم بريق المعادن إلى نوعين: فلزي ولا فلزي. وهناك معادن لها بريق وسط بين الإثنين.

البريق الفلزي: هو ذلك البريق الذي تعطيه الفلزات. ومن أمثلة المعادن التي لها بريق فلزي بيريت Pyrite (FeSz ، وجالينا Galena (PbS) ، ومثل هذه المعادن تكون معتمة وثقيلة الوزن.

أما أنواع البريق الأخرى فتوصف بأنها لا فلزية. ونلاحظ أن المعادن ذات البريق اللافلزي - بصفة عامة – تكون فاتحة اللون ، وتسمح بمرور الضوء خلالها وخصوصا في الأحرف الرفيعة. ويشمل البريق اللافلزي الأنواع الآتية:

- بريق زجاجي Vitreous of Glassy: مثل بريق الزجاج ومن أمثلته بريق الكوارتز.
- بريق ماسي Adamantino: مثل بريق الألماس الساطح. ويعطي هذا البريق بواسطة المعادن ذات معاملات الإنكسار العالية.

- بريق راتنجي Resinous: مثل سطح ومظهر الراتنج أو الكهرمان ، ومن أمثلته بريق الكبريت ، وسفاليريت (ZnS) Sphalerite. بريق لؤلؤي Pearly: ويشبه هذا البريق بريق اللؤلؤ ، ومن أمثلته بريق التلك (الطلق) Mg (OH) Silicate.
- بريق حريري Silky: مثل الحرير ، وينتج عن المعادن التي في هيئة ألياف ، ومن أمثلته بريق أحد أنواع الجبس المعروف بإسم ساتنسبار Satinspar.
- بريق أرى أو مطفي Earth of dull: عندما يكون السطح غير براق أي مطفي ،ومن أمثلته بريق معدن الكاولين [Al (OH) Silicate]. وتبعا لمقدار الضوء المنعكس من سطح المعدن (أي كثافته) يقال للبريق ساطح أو لامع أو براق أو مطفي.

اللون: Color

ينتج لون المعدن عن طول الموجة أو الموجات الضوئية التي تنعكس من المعدن وتؤثر في شبكية العين لتعطي الإحساس باللون. ويعتبر لون المعدن من أول الخواص الفيزيائية التي تشاهد ، ووسيلة هامة جدا تساعد على التعرف على المعدن بالرغم مما هو معروف من أن اللون لا يمثل صفة أساسية في المعدن ، إذ كثيرا ما يكون اللون نتيجة لشوائب غريبة تصادف وجودها في كيان المعدن. وهناك معادن لها لون ثابت يساعد في التعرف عليها مثل الكبريت (أصفر) والملاكيت Malachite [Cu (OH) Carbonise] ، الماجنتيت Magentite (Fe2O4) (أسود) ، السنبار Cinnabar (HgS) ، (أحمر). ويجب ملاحظة لون المعدن على سطح حديث خال

من التغيرات التي تطرأ على سطح المعدن المكشوف للعوامل الخارجية ، مثل الصدأ والتحلل (الأكسدة والكربنة والتموه) ، التي تسبب تغير اللون الأصلي.







أما المعادن التى ليس لها لون ثابت ، أي التي تظهر ألوانا مختلفة في العينات المختلفة ، فيعزى إختلاف اللون فيها إلى أسباب عدة. فقد يكون السبب كيميائيا أي نتيجة لإختلاف التركيب الكيميائي من عينة إلى أخرى ، مثل معدن سافليريت Sphalerite ، الذي يختلف لونه من البني الأصفر إلى الأسود ، وذلك بسبب كثرة الحديد في هذه الحالة. وقد يكون السبب في تغير اللون وجود شوائب تعمل عمل الأصباغ فتصبغ المعدن بلون مخالف للونه

إذا كان نقيا ، ومن الأمثلة المعروفة أنواع الكوارتز الوردي Rose quartz ، والكوارتز البنفسجي Amethyat ، والكوارتز الأحمر خفي التبلور crysptocrystalline ، المعروف باسم جاسبر jasper ، إذ تنتج هذه الألوان عن وجود شوائب مثل أكسيد الحديديك (اللون الأحمر) أو أكاسيد المنجنيز (اللون البنفسجي) ، والمعروف أن الكوراتز النقي شفاف اللون. وقد يعزى التغير في اللون إلى البناء الذري للمعدن حيث توجد بعض الروابط بين الذرات "مكسرة" ، كما هو الحال في معدن الكوارتز المدخن smoky quartz (له لون الدخان). وقد يكون اللون موزعا في المعدن الواحد في هيئة حلقات أو نطاقات منتظمة حول بعضها البعض مثل معدن أجيت Agate (كوارتز خفي التبلور) ، وتورمالين Tourmaline ، (سليكات الألومنيوم والبورون والمغنسيوم والحديد).





عرض الألوان: Play of color s

يقال للمعدن إنه يظهر عرضا للألوان عندما يعطي ألوانا مختلفة في تتباع عندما يدار المعدن ببطء أو عندما تحرك العين بالنسبة إلى المعدت ذات اليمين أو ذات اليسار. ومن أمثلة المعادن التي تعطي عرضا للألوان الألماس (نتيجة لقوة التفرق الضوئي dispersion) ، لابرادوريت Labradorite (سليكات الألومنيوم والكالسيوم والصوديوم (نتيجة لإنعكاس الضوء من أسطح مكتنفات صفائحية داخل المعدن. وخاصية الأوبال أو اللألأة هي إحدى أنواع عر ض الألوان ، ويظهرها معدن الأوبال (SiO2. nH2O) Opal في النوع الذي يستعمل في الأحجار الكريمة ، حيث تنتج الألوان المتلالئة من الإنعكاس الداخلي في المعدن.

أما التصدؤ ، فهو تغير في الألوان على السطح نتيجة لتحلل المعدن الأصلي وتكون طبقة سطحية من نواتج التحلل ، أي أن لون السطح يختلف عن لون سطح مكسور حديثا . ومن أمثلة المعادن التي تهظر عليها التصدؤ النحاس والبورنيت Cu_5FeS_4 (Bornite). وخاصية عين الهر ، هي عبارة عن البريق الحريري المتموج الذي يتغير بإختلاف إتجاه البصر. يظهر مثل هذا البريق المتموج على سطح المعادن ذات النسيج الألياقي (أي وحداتها توجد في هيئة ألياف) مثل معدن ساتنسبار Satinspar (الجبس الألياقي).

التضوء: Luminescence

يوصف المعدن بأنه متضوء (أي يعطي ضوءا) ، إذا حول الأشكال الأخرى من الطاقة إلى ضوء. وينتج التضوء عن التعرض للحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية .. الخ. ويختلف لون التضوء عن اللون الأصلي للمعدن ، وألوان التضوء دائما ألوان باهرة ساطعة. مثلا ، تعطي بعض أنواع معدن الكالسيت Calcite عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية ألوانا حمراء باهرة ، أما معدن ويليميت Willemite فإنه يعطي لونا أخضر ساطعا. وعندما تنتج ألوان التضوء أثناء التعرض للمؤثر فقط فإنها تعرف باسم التفلر Florescence وقد اشتق اسم هذه الخاصية من معدن فلوريت CaF_2 [Fluorite] الذي تبدي بعض أنواعه هذه الخاصية. أما إذا استمرت ألوان التضوء عقب زوال المؤثر فإنها تعرف باسم التفسفر Phosphorescence. وقد لوحظت خاصية التفسفر منذ حين عندما كانت تظهر بعض المعادن – التي كانت معرضة لضوء الشمس – ساطحة بألوان جذابة ، بعد نقلها إلى حجرة مظلمة.

وخاصية التفلر أكثر إنتشارا بين المعادن عن غيرها من أنواع التضوء الأخرى. ومن أمثلة المعادن التي تبدي في معظم الأحيان خاصية التفلر نذكر – بالإضافة إلى الكالسيت والفلوريت والويللميت - شيليت Scheelite ($CaWO_4$) ، سكابوليت Scapolite (Na Ca AL Silicate) ، الألماس ، الأوتونيت Autunite (Hydrate Ca U Phosphate) . ولا يمكن التنبؤ بخاصية التفلر إذ نلاحظ أن بعض عينات المعدن الواحد تتفلر ، بينما عينات أخرى لنفس المعدن لا تتفلر.

وتستعمل الأشعة فوق البنفسجية عادة في الكشف عن خاصية التفلر ، ويجرى الإختبار في مكان مظلم. والأجهزة المستخدمة تستعمل عادة مصابيح بخار الزئبق أو أنابيب الأرجون أو غيرها من مصادر إنتاج الأشعة فوق البنفسجية ، وقد تكون هذه الأجهزة من النوع الثابت الذي يستخدم التيار الكهربائي ، أو من النوع المتنقل الذي يستخدم بطاريات ، حيث يسهل حمل الجهاز والتنقل به ، مما يساعد على إستكشاف المعادن المتفلرة داخل الكهوف والمناجم.

الشفافية: Transparency

تعبر هذه الخاصية عن قدرة المعدن على إنفاذ الضوء . وتعرف المعادن التي تسمح برؤية الأجسام من خلالها بوضوح وسهولة باسم معادن شفافة . فإذا بدت الأجسام غير واضحة فإن المعدن يعتبر في هذه الحالة نصف شفاف . أما المعدن المعتم فهو الذي لا يسمح بنفاذ الضوء حتى خلال أحرفه الرفيعة. ومن أمثلة المعادن المعتمة البيريت ، الجالينا ، الجرافيت ، الكالكوبيريت.

المخدش: Streak

يقصد بمخدش المعدن لون مسحوقه الناعم.ويمكن معرفة لون المسحوق (المخدش) بسهولة بواسطة حك المعدن على سطح لوح من الخزف الأبيض المطفي يعرف بإسم لوح المخدش ، وملاحظة لون المسحوق الناتج ، وليس من الضروري أن يكون لون المعدن مثل مخدشه ، فمثلا معدن بيريت لونه كالنحاس الأصفر ولكن مخدشه أسود ، والكروميت $FeCr_2O_4$ (Chromite) ، لونه أسود ومخدشه بني. ولما كان المخدش خاصية ثابتة بالنسبة للمعدن الواحد لذلك فإن تعيينه بالنسبة للمعادن ذات الألوان المتغيرة يعتبر ذا أهمية كبرى ، إذ يساعد كثيرا على التعرف على المعدن. كذلك نلاحظ أن كثيرا من المعادن التي تشترك في لون واحد تختلف في مخدشها. فمثلا بعض عينات الماجنتيت (Fe_3O_4) والهيماتيت (Fe_2O_3) ، والجوتيت $HFeO_2$ ، تكون سوداء اللون ، ولكن

إذا حققنا مخدشها وجدنا للمجانتيت مخدشا أسود ، في حين يكون للهيماتيت مخدشا أحمر ، أما لجوتيت فنجد أن مخدشه أصفر بني.

عندما يكون المعدن صلدا جدا فإنه لا ينخدش على لوح المخدش ليترك أي مسحوق يمكن تمييز لونه ، بل على العكس ربما يخدش اللوح نفسه. وفي مثل هذه لاحالة تكسر قطعة صغيرة من هذا المعدن الصلد ونطحنها طحنا كاملا ونشاهد لون المسحوق الناتج.

في أحوال خاصة نستعمل لوحا خزفيا لامعا ونشاهد لون الأثر الذي يتركه المعدن عليه ، فقد وجد أن هذا الأثر على اللوح اللامع يساعد في التفرقة بين معدن الجرافيت ذي المخدش الأسود اللامع وبين الموليدينيت (Milybdenite (MoS2 ، ذي المخدش المائل للخضرة (كلا المعدنين يشبهان بعضهما البعض في كثير من الخواص الفيزيائية).



٢- الخواص التماسكية: Cohesive properties

الصلادة: Hardness:

الصلادة لفظ يعبر عن مقدار المقاومة التي يبديها المعدن تجاه الخدش والتآكل. ويمكن تعيين درجة الصلادة بملاحظة السهولة أو الصعوبة التي ينخدش بها المعدن بواسطة دبوس أو نصل سكن حاد. وتتراوح درجة الصلادة في المعادن بين تلك الدرجة المنخفضة في معدن التلك Tale الذي يمكن خدشه بواسطة الظفر وتلك الدرجة العلاية في معدن الألماس Diamond الذي يعتبر أصلد مادة معروفة سواء أكانت طبيعية أم صناعية. وتعتبر الصلادة من الخواص الفيزيائية الهامة للمعدن ، لأنه يمكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد في التعرف على المعدن. ويمكن تعيين صلادة المعدن تعيينا نسبيا ، وذلك بمقارنتها بصلادة المعادن المرتبة تبعا لزيادة درجة صلادتها في مقياس الصلادة المعروف باسم مثياس موهس للصلادة ، الذي يحتوي على عشرة معادن تبتدئ بأقل المعادن صلادة وهو التلك وتنتهي بأكثر المعادن صلادة وهو الألماس ، وبين الإثنين يوجد ثمانية معادن لها أرقام تمثل درجة الصلادة النسبية من ٢ إلى ٩. وفيما يلي مقياس موهس للصلادة: ١- التلك Tale ٢- الجبس Gypsum– ٣- الكالسيت Calcite– ٤- الفلوريت Fluorite– ٥-الأباتيت Apatite– ٦- الأرثوكليز Orthoclase-٧- الكوارتز Quartz– ٨- التوباز Topaz– ٩- الكوارندوم Corundum– ١٠- الألماس Diamond .

مقياس موهس للصلادة :

1	تلك	Talc
2	جبس	Gypsum
3	كالسيت	Calcite
4	فلوريت	Fluorite
5	الأباتيت	Apatite
6	الأرثوكليز	Orthoclase
7	كوارتز	Quartz
8	التوباز	Topaz
9	الكورندم	Corundum
10	الماس	Diamond


١ - التلك



٢ - الجبس



الكالسيت٣-



٤- فلوريت



٥- أباتيت



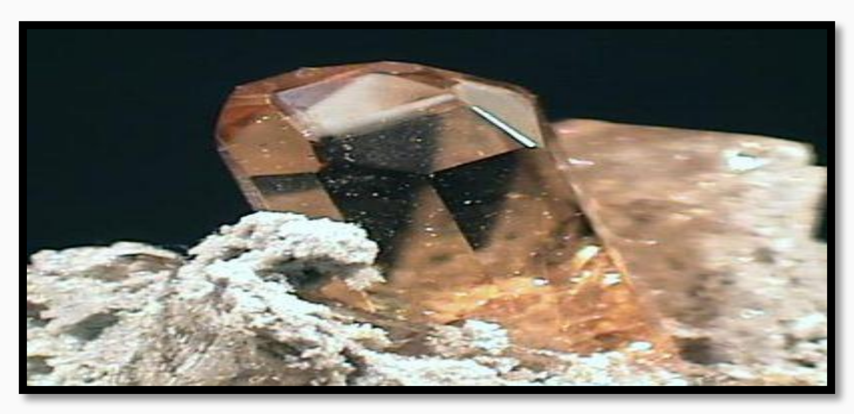
٦- أرثوكليز



٧ الكوارتز



٨ - التوباز



٩ - الكوراندوم



١٠ - الماس



فإذا أردنا معرفة صلادة أي معدن اختبرناه بالظفر أو بنصل المبراة لمعرفة موضعه بين المعادن الأخرى ، ثم نجرب على سطحه المعادن المقاربة له ، حتى نحدد موضعه بين المعدن الذي يخدشه والمعدن الذي ينخدش به. مثلا نجد أن معدن البيريت يخدش معدن الأرثوكليز (٦) ، ولكنه لا يخدش المعدن الذي يلي الأرثوكليز ينخدش نفسه بذلك المعدن – الكوارتز). أي أن صلادة ابيريت وسط بين صلادة الأرثوكليز (٦) وصلادة الكوارتز (٧) أي ٦,٥. فإذا أوجد معدنان لهما نفس الدرجة من الصلادة فإنهما يخدشان بعضهما بالتساوي.وعند تجربة قياس درجة الصلادة يجب التحيز بين الإنخداش الحقيقي وبين المخدش أي لون المسحوق الناتج من الإحتكاك ، مثل علامة الطباشير مثلا على لاسبورة (فلا نقول أن الطباشير أصلد من السبورة) ، فالإنخداش صفة ثابتة لا يمكن مسحها من على سطح المعدن ، ولكن المخدش يمكن مسحه بسهولة . كذلك يجب أن يكون طول الخدش أقصر ما يمكن ، بحيث لا يزيد عن ربع السنتيمتر حتى لا يشوه عينة المعدن.

ويجب ملاحظة أن الأرقام المعطاة للمعادن في مقياس موهس للصلادة تمثل الصلادة النسبية ، إذ ليس حقيقيا أن صلادة الألماس عشرة أمثال صلادة التلك فإنها أكثر من ذلك بكثير ، كذلك ليس حقيقا أن الفرق بين صلادة معدن والذي يليه في مقياس الصلادة المذكور متساو ومنتظم في كل المقياس ، إذ أن من المعروف أن الفرق بين ٩ (الكوراندوم) و ١٠ (الألماس) في مقياس الصلادة يفوق بكثير الفرق بين ١ (التلك) و ٩ (الكوراندوم).

ويسهل تعيين الصلادة علي وجه التقريب ، بإستعمال :الظفر ، قطعة نقود نحاسية ، نصل سكين (مكواة) ، قطعة زجاج نافذة ، لوح مخدش ، أو مبرد صلب ، التي لها درجات الصلادة التالية.

- الظفر ، حتى ٢,٥
- زجاج النافذة ، حتى ٥,٥
- عملة نحاسية ، حتى ٣
- لوح المخدش ، حتى ٦,٥
- نصل سكين ، حتى ٥,٥
- مبرد صلب ، ٦-٧

ولما كانت معظم المعادن ذات صلادة أقل من ٧ ، فإن هذا المقياس البسيط يجعل من السهل تعيين الصلادة ، على وجه التقريب ، للمعدن سواء أكان ذلك في المختبر أم في الحقل.

وعند إختيار الأحجار الكريمة يستعمل بائعو المجوهرات المبرد الصلب أولا ، فإذا عض المبرد (أي عمل خدشا صغيرا) في المادة المختبرة فإن صلادتها تكون أقل من ٠٤ ، حيث أن كثيرا من الأحجار الكريمة المقلدة – خصوصا المصنوعة من الزجاج – لها صلادة أقل من ٠٧ ، بينما غالبية الأحجار الكريمة الحقيقية لها صلادة أعلى من ذلك ، فإن هذا الإختبار البسيط بواسطة مبرد الصلب يساعد في التفرقة بين النوعين (المقلد والحقيقي).

الإنفصام: Cleavage

هذه هي الخاصية التي بموجبها ينفصم المعدن أو يتشقق بسهولة في إتجاهات معينة ، وينتج عنها سطوح جديدة تعرف باسم مستويات الإنقصام ، وتمثل هذه المستويات أوجها بلورية ممكنة على بلورة المعن ، إذ أن الترتيب الذري الداخلي للبلروة هو الذي يتحكم في تكوين وإتجاه هذه المستويات الإنفصامية ، تماما كما يتحكم في تكوين وإتجاه الأوجه البلورية. ويحدث الإنفصام دائما في المستويات التي تكون فيها الذرات مرتبطة برباط ضعيف.

ينفصم المعدن نتيجة لدقه أو ضغطه في إتجاه معين بواسطة حرف نصل سكين حاد. ويوصف الإنفصام تبعا لسهولة حدوثه وإكتماله بالصفات التالية: كامل ، واضح أو جيد ، غير كامل ، صعب أو صعيف . وكذلك يوصف الإنفصام تبعا لتجاهه البلوري فهناك مثلا إنفصام مكعبي {١٠٠} (موازي لأوجه المكعب) كما في معدن الجاليتا والهاليت. أو إنفصام ثماني الأوجه {١١١} (موازي لأوجه ثماني الأوجه) كما في معدن الفلوريت. أو إنفصام معيني الأوجه {١٠¯١١} ، {١١¯١٠} (موازي لأسطح معيني الأوجه) كما في معدن الكالسيت ، أو منشوري {١١٠} (موازي لأسطح المنشور) كما في معدن الهورتبلند ومعدن الأوجيت ، أو قاعدي {١٠٠} (موازي للسطوح القادي) كما في معادن الميكا ، ومعدن الجرافيت ، شكل (١٤٨).



الانفصام الصفائحى فى الميكا



الانفصام المكعبى فى الهاليت

وعند وصف إنفصام المعدن يجب ذكر درجة السهولة التي يحدث بها ، وكذلك موضعه البلوري ، فمثلا:

- معادن الميكا لها إنفصام قاعدي كامل {١٠٠}.
- أرثوكليز له إنفصام قاعدي كامل {١٠٠} ، وإنفصام جانبي جيد {٠١٠}.
- أباتيت له إنفصام قاعدي ضعيف {١٠٠٠}.
- هونبلند له إنفصام منشوري جيد {٠١١} ، يتقاطع بزوايا تقرب من ١٢٠ درجة .
- أوجيت له إنفصام منشوري كامل {٠١١} يتقاطع بزوايا تقرب من ٩٠ درجة .
- كالسيت له إنفصام معيني الأوجه كامل {١٠¯١١} .
- هاليت له إنفصال مكعبي {٠٠١} .
- كوارتز لا يوجد به إنفصام بالمرة.

ويدل على الإنفصام في المعدن وجود شروخ أو خطوط منتظمة المسافات والبعد والإتجاهات على سطح ناعم للمعدن ، هذه الشروخ أو الخطوط هي عبارة عن الأثر الذي يتركه الإنفصام على سطح المعدن وفي هذه الحالات التي نشاهد فيها آثار الإنفصام لا يوجد ما يبرر مطلقا تكسير عينة المعدن أو محاولة فصمها إلى شرائح بواسطة نصل السكين.

أمثلة من المعادن ذات الأعداد المختلفة لمستويات الانفصام

المثال	عدد مستويات الانفصام
مرو (كوارتز)، أولفين	عديم الانفصام
فلسبار	ثنائي (متعامدة)
هورنبلند	ثنائي (غير متعامدة)
هاليت (ملح الطعام)	ثلاثي (متعامدة)
كالسيت	ثلاثي (غير متعامدة)
فلورايت	ثماني
سفالورايت	سداسي

الإنفصال: Parting

هو مستويات ضعف ، مثل الإنفصام إلا أنه لا يتكون عموما نتيجة للبناء الذري الداخلي للمعدن ، بل نتيجة لعوامل أخرى مثل الضغط أو التوأمية. ولما كانت هذه المستويات وخصوصا المستويات التوأمية موازية لمستويات بلورية فإن الإنفصال يشبه الإنفصام. ولكن الإنفصام يختلف عن الإنفصام في أن الإنفصال لا يوجد بالضرورة في جميع عينات المعدن الواحد ، ولكن يشاهد فقط في تلك البلورات التوأمية أو التي تعرضت إلى ضغط مناسب. وحتى في مثل هذه الحالات التي يشاهد فيها الإنفصال فإن عدد مستويات الإنفصال في الإتجاه الواحد محدودة ، وتبعد هذه المستويات الإنفصالية عن بعضها البعض بمسافات غير متساوية عموما. ومن أشهر أمثلة الإنفصال الذي يحدث في المستويات التوأمية والتركيبية (مستويات ضعف في البناء) ذلك الإنفصال القاعدي في معادن البيروكسين ، والإنفصال معيني الأوجه في الكوراندوم ، والإنفصال ثماني الأوجه في الماجنتيت.

المكسر: Fracture

يعرف المكسر بأنه نوع السطح الناتج عن كسر المعدن في مستوى غير مستوى الإنفصام. تعطي المعادن التي ليس فيها إنفصاما مكسرا بسهولة ، وتستخدم الصفات التالية في وصف الأنواع المختلفة من المكسر.

- **محاري: عندما يشبه السطح المكسور الشكل الداخلي لصدفة المحارة ، أي يكون في هيئة خطوط مقوسة دائرية مثل مكسر قطعة سميكة من الزجاج ، ومن أمثلته مكسر الكوارتز.**

• خشن: عندما يكون السطح الناتج جاف غير منتظم وهو منتشر بين كثير من المعادن ، مثل البيريت ، والباريت.
• مستوي: عندما يكون المكسر أملس تقريبا.
• ترابي: سطح غير منتظم يعطي بواسطة المعادن الترابية ، مثل الكاولينيت ومعادن البوكسيت.
• مسنن: عندما يكون السطح الناتج عن الكسر ذا أسنان حادة مدببة ، مثل مكسر قطعة من النحاس (شظايا القنابل).


المكسر المحاري في الأوبسيديان

خاصية الطرق والسحب (التماسك) Tancity

وهي المقاومة التي يبديها المعدن نحو الطرق والكسر والطحن والإنثناء ، أو بالإختصار تماسك المعدن. وتستخدم الألفاظ التالية في وصف الأنواع المختلفة من تماسك المعدن.

• قابل للكسر: يتكسر المعدن إلى مسحوق بسهولة مثل البيريت.
• قابل للطرق: عندما يمكن طرق المعدن إلى صفائح رقيقة ، مثل الذهب ، والنحاس ، والفضة.
• قابل للسحب: عندما يمكن سحب المعدن إلى أسلاك ، مثل الذهب ، والنحاس ، والفضة.
• قابل للقطع: عندما يمكن قطع المعدن إلى قشور يمكن طحنها مثل الجبس.
• قابل للإنثناء: عندما يمكن ثني قشور المعدن بالضغط ، وفي هذه الحالة لا يعود المعدن إلى شكله الأصلي إذا زال الضغط ، مثل الكلوريت والمولدينيت ، والجرافيت.
• مرن: عندما يمكن ثني قشور المعدن بالضغط ، ولكن بمجرد زوال الضغط يستعيد المعدن شكله الأصلي مثل البيوتيت والمسكوفيت.

٣- الخواص الكهربائية والمغناطيسية Electrical and Magnetic properties

الكهرباء الحرارية: Pyroelectiricity

هي الخاصية التي بموجبها تتكون على الأطراف المختلفة لبلورة المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتسخينه ، وتوجد هذه الخاصية في البلورات ذات التماثل الأدنى ، خصوصا البلورات نصف الشكلية ، (أي التي لها طرفان مختلفان نتيجة لعدم وجود مستوى تماثل بينهما).

يعتبر معدن التورمالين من أحسن الأمثلة التي تظهر هذه الخاصية ، ولبلورة التورمالين طرفان أحدهما حاد الزاوية وآخر منفرج الزاوية ، فإذا سخنا البلور فإنه يتولد عند الطرف الحاد شحنات كهربائية موجبة ، بينما يتولد عند الطرف المنفرج شحنات كهربائية سالبة. ويتعرف على السالب من الموجب بواسطة رش البلورة المسخنة بمسحوق مخلظ الكبريت الأصفر وأكسيد الرصاص الأحمر ، فنلاحظ أن أكسيد الرصاص الأحمر ينجذب نحو الطرف السالب التكهرب ، أما الكبريت الأصفر فإنه ينجذب نحو الطرف الموجب التكهرب. وتستعمل بلورات التورمالين ، نتيجة لخاصية الكهرباء الحرارية – في الأجهزة المستخدمة في قياس درجة حرارة إنفجار القنابل.

الكهرباء الضغطية: Piezoelectricity

وهي الخاصية التي بموجبها تتكون على أطراف المعدن شحنات كهربائية نتيجة لضغطه. وتلاحظ الشحنات الكهربائية على الأطراف المختلفة للمحاور البلورية. ومن الأمثلة الهامة لهذه الخاصية معدن الكوارتز الذي يستعمل في أجهزة الراديو والإرسال اللاسلكي للتحكم في التردد.

المغناطيسية:Magnetism

تنجذب بعض المعادن إلى المغناطيس الكهربائي القوي إذا قربت منه في حين تنفر معادن أخرى من المغناطيس. والمعادن الأولى تعرف بإسم بارامغناطيسية ، في حين تعرف الثانية بإسم ديامغناطيسية. وتختلف المعادن البارامغناطيسية من حيث قوة مغناطيسيتها ، فبعضها قوي مثل ماجنتيت (أحد أنواعه المعروفة بإسم حجر المغناطيس ، ويمكنه جذب برادة الحديد) ، والبعض الآخر ضعيف المغناطيسية مثل إلمينيت Ilmenite (FeTiO8)). ومن أمثل المعادن الديامغناطيسية الكوارتز والكالسيت والزركون. ولهذه الخاصية قيمتها وأهميتها عند فصل خامات المعادن وتركيزها ، كما هو مستعمل في إستغلال الرمال السوداء التي تحتوي على الماجنتيت والألمينيت والجارنت والزركون والمونازيت.

و – الكثافة والكثافة النوعية :

تعرف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم للمادة (يعبر عنها دائما بالجرام لكل سنتيمتر مكعب) . وقد حاول العلماء الوصول إلي طريقة سهلة لقياس هذه الخاصية، حيث استخدمت الكثافة النوعية كمقياس موحد للكثافة. وتعرف الكثافة النوعية أنها عبارة عن النسبة بين وزن المعدن في الهواء إلي وزن حجم مساو له من الماء النقي عند ٤م. فمثلا، إذا كان وزن أي معدن يساوي أربعة أضعاف وزن حجم مساو له من الماء فإن الكثافة النوعية للمعدن تساوي ٤.

وتعتمد الكثافة على الوزن الذري لأيونات المعدن، ودرجة إحكام البنية البلورية للمعدن. فمعدن الماجنيتيت كثافته ٥,٢جم/سم٣. وترجع هذه الكثافة العالية إلي الوزن الذري العالي للحديد، كما ترجع أيضا إلي البنية البلورية المحكمة لهذا المعدن. ويشبه معدن الماجنيتيت في كثافته العالية باقي معادن مجموعة السبينل كما أسلفنا سابقا. أما كثافة معدن الأوليفين والمحتوي على عنصر الحديد فتكون ٤,٤جم/سم٣، وهى أقل من معدن الماجنيتيت، وذلك لسببين هما الوزن الذري للسيليكون(وهو أحد العناصر المكونة لمعدن الوليفين) الذي يكون أقل من الوزن للحديد، والبنية البلورية الأكثر إحكاما في معدن الماجنيتيت (مجموعة السبينل) عنها في معدن الأوليفين، اما كثافة

الأوليفين المحتوي على عنصر الماغنسيوم فتكون أقل من تلك التي تميز الأوليفين المحتوي على الحديد وتصل إلي ٣,٣جم/سم٣، حيث أن الوزن الذري للماغنسيوم أقل بكثير من الوزن الذري للحديد.

وتؤثر الزيادة في الكثافة، الناشئة عن الزيادة في الضغط، على درجة نفاذية الضوء وانتقال الحرارة والموجات الزلزالية في المعادن. ولقد أظهرت التجارب أن بنية معدن الأوليفين تتحول إلي بنية أكثر إحكاما، ومماثلة لمجموعة السبينل عند الضغوط العالية جدا، والتي تتوافر عند عمق نحو ٤٠٠كم. أما عند الأعماق الأكبر من ذلك، والتي تصل إلي ٦٧٠كم، حيث تتحول مواد الوشاح إلي معادن سيليكات ذات بنية بلورية أكثر إحكاما من البنيات السابقة فيتكون معدن بيروفسكيت. ولضخامة حجم الوشاح السفلي، فإن السيليكات التي لها بنية معدن البيروفسكيت ربما تكون أكثر المعادن شيوعا في الأرض كلها. ولقد ساعد علماء المعادن في تصنيع بعض معادن البيروفسكيت لتصبح أشباه موصلات عند درجات الحرارة العالية والتي توصل الكهرباء بدون أية مقاومة، وهى من أشباه الموصلات ذات القيمة التجارية العالية. ومن ناحية أخرى، فإن الحرارة تؤثر أيضا على الكثلفة، فكلما ارتفعت درجة الحرارة كانت البنية البلورية أقل إحكاما وأكثر تباعدا، وبالتالي قلت الكثافة.

هيئة البلورة :

إن هيئة البلورة لمعدن ما، هى الشكل او الهيئة التي تبدو عليها البلورة أو التجمع البلوري. وتوصف غالبا هيئة البلورة طبقا للشكل الهندسي العام لها، فنقول إن البلورة نصلية أي تشبه نصل النبات أو لوحية أي تشبه اللوح أو إبرية وهكذا. كما أن بعض المعادن التي لها هيئات مميزة تجعل من السهل التعرف على هذه المعادن. فمثلا بلورة معدن الكوارتز تكون على هيئة عمود سداسي يعلوه مجموعة من الوجه الهرمية الشكل. ولا تعكس هذه الأشكال مستويات الذرات أو الأيونات في البنية البلورية للمعدن فقط، ولكنها تعكس أيضا سرعة واتجاه نمو البلورات. فالشكل الإبري لبلورة ما، يعني النمو السريع في أحد الاتجاهات والبطء الشديد في باقي الاتجاهات. أما البلورة التي تشبه اللوح، فإنها تنمو بسرعة في كل الاتجاهات العمودية على اتجاه واحد للنمو البطيء للبلورة. اما البلورات الليفية فإنها تأخذ شكل ألياف عديدة طويلة ورفيعة على هيئة تجمع من الإبر الطويلة.

والخلاصة، فإن المعادن تتميز بعديد من الخواص الفيزيائية والكيميائية، والتي تنتج عن التركيب الكيميائي والبنية البلورية الداخلية. ويكون عديد من هذه الخواص مفيدا للعاملين في علم المعادن خصوصا والجيولوجيا عموما من أجل تعريف وتصنيف المعادن. ويقوم الجيولوجيون بدراسة التركيب الكيميائي والبنية البلورية الداخلية للمعادن في محاولة لفهم أصل الصخور التي تتكون منها المعادن، وبالتالي طبيعة العمليات الجيولوجية داخل الأرض وفوق سطحها.

المعادن كأدلة على بيئات التكوين :
لا تستخدم المعادن فقط كأحجار للزينة أو مصادر لمواد ذات قيمة اقتصادية، وإنما تستخدم أيضا كأدلة على الظروف الفيزيائية والكيميائية التي تكونت تحتها تلك المعادن، وبالتالي الصخور التي تحتوي تلك المعادن، والتي تتواجد في مناطق لا يمكن مشاهدتها أو قياس العوامل المؤثرة فيها مباشرة.

وقد حدث تقدم هائل في فهمنا لبيئات تكوين المعادن خلال دراسة المعادن في المعمل، حيث تمكن العلماء باستخدام تجارب مناسبة من تحديد درجات الحرارة والضغط العالية التي يتكون عندها الماس بديلا عن الجرافيت، الذي يحتاج لدرجات حرارة وضغط أقل. فالماس والجرافيت هما معدنان ثنائيا الشكل، أي أن كليهما يتكون من الكربون، بينما يكون لهما بناءان بلوريان مختلفان. وحيث إنه من المعروف أن درجة الحرارة والضغط تزداد مع زيادة العمق في القشرة الأرضية، فإن الماس يتكون في صخور الوشاح التي تتكون على عمق لا يقل عن ١٥٠كم تحت سطح الأرض.

كما أن هناك مثالا آخر يرتبط بعملية التجوية، حيث يتحكم المناخ الذي يتغير من بارد رطب لإلي حار جاف في توزيع المعادن في الغلاف الصخري للأرض أثناء عملية التجوية. ويمكن بذلك استنتاج المناخات التي كانت تسود الكرة الأرضية في الماضي من أنواع العادن المحفوظة في الصخور الرسوبية. كما يمكن أيضا تحديد التركيب الكيميائي لماء البحر في الأزمنة الماضية من المعادن التي تكونت أثناء تبخر ماء البحر وترسيب الأملاح.

الفصل الثاني: سجل العمليات الجيولوجية ـ الصخور



يتكون الغلاف الصخري للأرض من ثلاثة أنواع من الصخور، هى الصخور النارية والرسوبية والمتحولة. **ويعرف الصخر**: بأنه كل مادة صلبة متماسكة غير حية تكونت طبيعيا من معدن واحد أو من خليط من عدة معادن، وتكون جزءا من كوكب. وتتنوع الصخور في ألوانها وفي حجم البلورات أو الحبيبات المكونة لمعادنها، وأيضا في أنواع المعادن التي تكونها. ويحدد مظهر الصخور وصفاتها تركيبها المعدني ونسيجها. فالتركيب المعدني أي نسب مكونات الصخر من المعادن تساعد في تحديد مظهر الصخر، بالإضافة لعديد من الصفات الأخرى. كما يساهم النسيج وهو ما يطلق على حجم وشكل وطريقة ترتيب بلورات وحبيبات المعدن المكونة للصخر، والطريقة التي تتواجد بها تلك المكونات مع بعضها البعض، في تحديد سمات وخصائص الصخر أيضا. وتصنف عادة هذه البلورات أو الحبيبات، والتي لا يتجاوز قطرها عدة مليايمترات قليلة في معظم الصخور إلي خشنة، إذا كانت الحبيبات كبيرة لدرجة يمكن تميزها بالعين المجردة، أو دقيقة إذا لم يكن من الممكن تميزها بالعين المجردة. كما يمكن أن تختلف أيضا بلورات أو حبيبات المعدن في الشكل أو الهيئة، حيث تكون إبرية الشكل أو مسطحة أو لوحية أو منشورية أو صفائحية أو متساوية الأبعاد أي لها نفس البعد في كل الاتجاهات مثل الكرة أو المكعب. وتؤدي هذه الاختلافات في التركيب المعدني والنسيج إلي عديد من الملامح والمظاهر الكبيرة التي تميز بين الأنواع المختلفة للصخور. كما تساهم أيضا في تحديد الأصل الجيولوجي للصخور، أي تحديد مكان وطريقة تكوينها. وتمثل الصخور النارية ٩٥% من حجم الصخور المكونة للقشرة الأرضية، بينما تمثل الصخور الرسوبية ٥% منها، غير أن الصخور الرسوبية تغطي ٧٥% من مساحة الأرض فقط مقارنة بالصخور النارية التي تغطي نحو ٢٥% منها .



ونعرض فيما يلي وصفا تفصيليا لكل نوع من الأنواع:

١ ـ الصخور النارية:

تتكون الصخور النارية من تبلور مادة الصهارة أو الماجما. والصهارة هى مادة صخرية منصهرة كليا أو جزئيا ثقيلة القوام لزجة، توجد في أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية أو في الوشاح العلوي، حيث تصل درجة الحرارة إلي ٧٠٠ مئوية أو أكثر، وهى درجة حرارة تكفي لصهر معظم الصخور. وعندما تبدأ الصهارة في التبرد التدريجي في باطن الأرض، تتكون بلورات صغيرة ميكروسكوبية الحجم. وعندما تصل درجة حرارة الصهارة إلي أقل من درجة الانصهار، تنمو بعض هذه البلورات ليصل قطرها إلي عدة ميلليمترات أو أكثر مكونة صخرا ناريا خشن التحبب. ولكن عندما تنبثق الصهارة من بركان إلي سطح الأرض فإنها تعرف باللابة. وتبرد اللابة وتتجمد بسرعة حيث لا تجد البلورات الوقت الكافي للنمو التدريجي فتتكون سريعا بلورات دقيقةمكونة صخرا ناريأً دقيق التحبب.

ولذلك فإن الصخور النارية تصنف اعتمادا على حجم البلورات بها إلي نوعين هما الصخور النارية المتداخلة والصخور النارية المنبثقة :

أ – الصخور النارية المتداخلة:

ويطلق عليها أحيانا الصخور البلوتونية. وتتكون الصخور النارية المتداخلة نتيجة التبلور البطيء لصهارة تداخلت في الصخور الموجودة تحت سطح الأرض، والتي يطلق عليها صخر الإقليم أو صخر المنطقة. وتتميز الصخور النارية المتداخلة عادة بكبر حجم بلوراتها المتشابكة (المعشقة)، والتي نمت ببطء نتيجة التبريد التدريجي للصهارة. وتعرف كل أجسام الصخور النارية المتداخلة، بغض النظر عن شكلها أو حجمها بالبلوتونات. وتشمل البلوتونات الصغيرة كلا من القواطع والجدد الموازية . والقواطع هو جسم شبه صفائحي منضدي الشكل من الصخور النارية، يقطع طبقات الصخور التي يتداخل فيها. أما الجدد الموازية فهى جسم شبه صفائحي منضدي الشكل من الصخور النارية التي تتواجد موازية لطبقات الصخور المحيطة التي تداخلت فيها. أما الباثوليت فهو أكبر أنواع البلوتونات. والباثوليث جسم ناري متداخل غير منتظم الشكل يقطع طبقات الصخور التي يتداخل فيها ، وقد تزيد بعض الباثوليثات عن ١٠٠٠كم طولا و ٢٥٠كم عرضا.

ب – الصخور النارية المنبثقة:

تسمى الصخور التي تكونت من صهارة انبثقت فوق سطح الأرض وبردت بسرعة باسم الصخور النارية المنبثقة والتي تعرف بالصخور البركانية. وتتميز هذه الصخور بنسيجها الزجاجي أو النسيج دقيق التحبب. وتتكون الصخور النارية المنبثقة بالتبركن، وهى العملية التي تصعد بالصهارة وما يصاحبها من فتات صلب وغازات إلي سطح الأرض والغلاف الجوي لتكون البراكين. وقد تتكون هذه الصخور من لابة تتدفق مثل السوائل لمسافات على سطح الأرض قبل أن تتصلب، أو من حبيبات رماد تبلورت تقريبا في الحال عندما اندفعت عاليا في الغلاف الجوي عند ثوران بركان ما. وقد تتساقط المواد البركانية من أفواه البراكين الثائرة ككتل أو ككرات أو قطع صغيرة أو كرماد بركاني، أو حتى كمادة سائلة تتجمد قبل أن تسقط على الأرض. وقد يتساقط هذا الفتات الناري بجوار البركان مكونا جزءا منه، أو قد ينتشر لمسافات بعيدة بفعل الرياح.

أنسجة الصخور النارية:

- نسيج الصخر الناري وهو مجموعة الصفات التي تتعلق بما يلي:

-شكل حبيبات المعادن المكونه للصخر.
-علاقة هذه الحبيبات ببعضها
-طريقة ترتيب ودمك وحبك هذه المعادن في الصخر.

- تنشأ هذه الصفات نتيجة تبلور المعاد ن من الصهارة وتراكمها على بعضها أو التحامها مع بعضها بطرق وأنماط مختلفة.
- نسيج الصخر الناري هو من صفات الصخر الاساسية والهامة ولا يعتبر وصف الصخر كاملا إلا به.
- يتم وصف الأنسجة من النواحي التالية: درجة التبلور – حجم البلورات – شكل البلورات.

درجة التبلور:

- درجة التبلور في الصخر هي كمية البلورات مقابل الزجاج في ذلك الصخر.
- درجة التبلور تعتمد على عدة عوامل:
- التبريد السريع جدا يعتبر عاملا مهما في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطئ تحت درجة حرارة التبلور يؤدي إلى تكون البلورات ونموها.
- اللزوجة العالية في الصهارات الغنية بالسيليكا (مثل الصهاره الرايوليتيه) تعيق تحرك الأيونات إلى مواقع التبلور وبذلك تمنع من تكون البلورات.

• توصف درجة التبلور كالتالي:

زجاج كلي holohyaline .
خليط من زجاج وبلورات hypocrystalline.
بلورات كليه Holocrystalline **.**

درجة التحبب:

• حجم الحبيبات في الصخور النارية يعتمد على الأكثر على سرعة التبريد في الصهير لكن في الصخور الجوفيه يلعب محتوى الأبخره في الصهير دورا أكثر أهمية.
• هناك عوامل أخرى تؤثر في حجم البلورات مثل لزوجة الصهير وعدد نواة البلورات.
• الصخور دقيقة الحبيبات جدا والتي لا ترى بالعين المجردة تسمىAphanitic .

• تقسم الصخور الناريه حسب حجم حبيباتها إلى:

دقيقة التحبب fine grained (أقل من ١ مم)
متوسطة التحبب 5 -1) medium grained مم)
خشنة التحبب 5-10) coarse grained مم)
شديدة الخشونة (بجماتيتي) very coarse grained (أكثر من ١٠مم)

الحبيبات الدقيقة (التي تتكون في البازلت مثلا) تتكون نتيجة تكون عدد كبير من الأنوية مصاحب بتبلور سريع نتيجة للتبريد السريع على سطح الأرض.

الحبيبات الخشنة تتكون نتيجة للعوامل التالية:

١-التبريد البطئ بحيث يكون هناك وقت كافي لتجميع مزيد من الأيونات لتلتصق حول البلورات النامية.
٢- لزوجة منخفضة تسمح بتسرب سريع للأيونات في اتجاه البلورات النامية.
٣- عدد نواة البلورات يجب ان يكون قليلا حتى تنمو البلورات دون أي إعاقة من البلورات المجاورة.

الحبيبات الخشنة جدا في الصخور البجماتيتيه تعتمد ظاهريا على المحتوى العالي من المتبخرات والذي يتركز في المراحل الأخيرة من التبلور.

للماء والأبخرة الأخرى تأثيرين مهمين إلى الخشونة الشديده للحبيبات وهما:

١- الماء والأبخرة تمنع تكون الأنوية وذلك باضعاف الروابط بين السيليكا تتراهيدرا SiO_4
٢- الماء والأبخرة تزيد من سرعة النمو وذلك بتخفيض درجة اللزوجه وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليله فتصبح بلورات كبيرة.

شكل الحبيبات:

• تقسم أشكال الحبيبات إلى التقسيمات التاليه:
كاملة الأوجه euhedral.
ناقصة الأوجه subhedral.
عديمة الأوجه anhedral.

• شكل الحبيبات يساعدعلى التعرف علي تتابع التبلور.
• إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها كاملة الأوجه يدعى نسيج الصخر Panidiomophic(مثلا صخر اللامبروفير lamprophire).
• إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها ناقصة الأوجه يدعى نسيج الصخر Hypidiomophic وهو النسيج السائد في معظم الصخور النارية.
• إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها عديم الأوجه يدعى نسيج الصخر Allotriomorphic (مثلا صخر الأبليت aplite).
• إذا كانت الحبيبات متساوية الأبعاد تسمى equant.
• إذا كانت الحبيبات صفائحية أو لوحية تسمى tabular.
• إذا كانت الحبيبات منشوريه أو مستطيله تسمى prismatic.
• إذا كانت الحبيبات إبريه الشكل تسمى acicular.

أنسجة الصخور الزجاجية:

- تبلور الصهير السريع الذي يؤدي إلى تكون الزجاج يسمىdevitrification .
- تنمو بلورات ليفيه عاموديه على الشقوق في الزجاج أو على شكل شعاعي على أطراف البلورات الكبيرة مكون أجساما دائرية تعرف باسم spherulite.

أنسجة الإنسياب: Flow Textures

- إذا استمر الأنسياب خلال مراحل التبريد والتبلور للصهير ينتج عن ذلك ترتيب للبلورات في اتجاه الأنسياب وينطبق ذلك على بلورات الفلسبار الصفائحيه مكونه النسيج التراكيتي.

أنسجة النمو المشترك: Intergrowth Textures

- أن معادن الصخور الناريه ربما تتبلور في نفس الوقت أو في تتابع أو بعضها ينمو على حساب الآخر.

• فيما يلي بعض الأمثلة المختلفة من أنسجة النمو المشترك :

النسيج البويكليتي: Poiklitic Textures

بلورات صغيرة تنتشر عشوائيا داخل بلوره كبيره من معدن مختلف. البلورات الصغيرة عديمة الأوجه ويبدو انها تبلورت بعد البلوره الكبيره وهناك ظواهر تشير إلى وجود تفاعلات بين البلورات الصغيرة المحاطة والبلورة الكبيرة ادت إلى تكون هذا النسيج.

النسيج الأفيتي: Ophitic Texture

النسيج الأوفيتي ينشأ عندما تحاط بلورات البلاجيوكليز ببلورات كبيرة من البيروكسين أوالأليفين.وفي هذا النسيج نجد عكس ما هو حاصل في النسيج البيوكليتي فالبلورات الصغيرة هنا تكون كاملة الأوجه ولا يوجد أي مؤشر على حصول تفاعل بينها وبين البلوره المحيطة .عندما تحيط بلورة البيروكسين او الأليفين الكبيره جزئيا ببلورات البلاجيوكليز يسمى النسيج subophitic.

النسيج التراكمي: Cumulus Texture

المعادن الأوليه (التي تكونت في بداية التبلور) في بعض الأحيان تتركز وتنفصل عن الصهير لتكون صخور مختلفة التركيب عن الصهير. تراكم هذه المعادن الأوليه يكون النسيج التراكمي وتكون هذه المعادن كاملة الأوجه.

النسيج الهيروغليفي: Graphic Texture

ينتشر هذا النسيج على الأخص في صخور البيجماتيت وينشأ نتيجه نمو مشترك بين بلورات مثلثه وسداسية الشكل من الكوراتز داخل بلورة من الفلسبار القلوي.

النسيج الميرمكيتي: Myrmekitic Texture

ينشأ هذه النسيج كنمو مشترك من الكوارتز داخل البلاجيوكليز ويمتد إلى الفلسبار المجاور.

النسيج البيرثيتي: Perthite والأنتي بيرثيت Antiperthite

النسيج البيرثيتي هو نمو مشترك بين البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي حيث توجد بلورات من البلاجيوكليز داخل بلورة الفلسبار البوتاسي. أما بالنسبة لنسيج الأنتي بيرثيت فيحدث العكس حيث توجد بلورات الفلسبار البوتاسي داخل البلاجيوكليز.

التركيب الكيميائي للصهارة:

العناصر الرئيسةMajor Elements

•يضم التركيب الكيميائي للصخور النارية ١٣ اكسيد عنصر رئيس تظهر على هيئة نسب مئوية وزنية(wt.%).

• أكاسيد العناصر الرئيسة في الصخور النارية هي كالتالي:

Major Elements as Oxides

wt % SiO_2

wt% Al_2O_3

wt% TiO_2, Fe_2O_3 (ferric), FeO (ferric), MnO, MgO, CaO

wt% Na_2O، wt% K_2O.

Minor or Trace Elements
- تقدر قيم هذه العناصر بنسبة جزء في المليون ppm).
- تضم هذه العناصر على المجموعات التالية:

Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga
Rb, Sr, Y, Zr, Nb
Ba, Pb
F, Cl, S

العناصر الأرضية النادرة:(Rare Earth Elements(REE
- تقدر قيم هذه العناصر بنسبة جزء في المليون .ppm).
- تضم العناصر الأرضية النادرة على العناصر التي يتراوح عددها الذري من ٥٧ إلى ٧١ .
- تعتبر هذه العناصر مهمة في دراسة أصل تكون الصخور النارية.

تبلور الصهاره السيليكاتية:
- التبلور هو عملية تحول الصهارة من الحالة السائلة إلى الصلبة.
- لا تتبلور كل المعادن في نفس الوقت (في درجة حرارة واحده).
- إن المعادن التي تتبلور في البداية لا تستمر كما هي بل تتحول إلى معادن أخرى مع انخفاض درجات الحرارة إذا استمرت في التفاعل مع بقية السائل الصهاري.

سلاسل تفاعل بوين Bowen Reaction Series
هناك نوعان من سلاسل التفاعل التي تتبلور فيها المعادن :
١- **سلسلة التفاعل المتصلة** Continuous Reaction Series
- في هذه السلسلة يتحول التركيب الكيميائي للمعادن (التي تتبلورمبكرا) تدريجيا وذلك بالتبادل الأيوني بين عنصر واحد في المعدن (Ca) وعنصر في الصهارة (Na). مثال على هذه السلسلة مجموعة معادن البلاجيوكليز.

أنورثيت Anorthite(An90-100)
بايتونيت (Bytownite(An90-70)
لابرادوريت Labradorite(An70-50)
أنديزين Andesine (An50-30)
أوليجوكليز Oligoclase (An30-10)
ألبيت Albite (An10-0)

٢- **سلسلة التفاعل غير المتصلة** Discontinuous Reaction Series
- تضم هذه السلسلة مجموعة المعادن المافيه.
- معدن الأوليفين الذي يتكون مبكرا يتفاعل مع بقية الصهار ليكون معدن جديد ذو تركيب كيميائي مختلف.

التغييرات في التركيب الصهاري:
- تمر الصهارة بعمليات عديدة أثناء تصلدها تؤثر على تركيبها الكيميائي.
- **أهم هذه العمليات هي** :

عملية التمايز: (التفاصل) الصهاري Magmatic Differentiation.
ينتج عن هذه العملية تحول الصهارة الواحدة إلى عديد من أنواع الصخور النارية بفضل انفصال بعض مكوناتها خلال مرحلة أو أخرى من التصلد.

عملية التمثل الصهاري :
Magmatic Assimilation
تذيب الصهارة أجساما غريبة عنها حين التقاطها من الصخور المحيطة بها أثناء صعودها أو تموضعها و يؤدي هذا بالطبع إلى التغيير في تركيب الصهارة وبالتالي في تركيب الصخور الناتجة عن تبلورها .

التمايز (التفاصل: Differentiation
التطور التدريجي للطور السائل الصهاري مع فصل المكونات مبكرة التكوين يعرف باسم التفاصل او التمايز الصهاري.

يحدث التمايز بفعل عدد من الوسائل والطرق أهمها:
١. التبلور التجزيئي Fractional Crystallization.
٢. عدم امتزاج الأطوار السائلة Liquid Immiscibility.
٣. تحرك المتطايرات Movement of Volatiles.

التبلور التجزيئي:
- تنخفض كثافة البلورات المتكونة كلما استمرت عملية التبلور الجزئي للصهير.
- أن عملية تكون البلورات من الصهير على مراحل متدرجة ومختلفة تعرف بالتبلور التجزيئي.

- **هناك عدة أنواع من التبلور التجزيئي:**

١**. التفاصل بالجاذبية**: Gravity Differentiation
بلورات المعادن مبكرة التكوين ذات الكثافة العالية مقارنة بالصهارة تترسب في قاع غرفة الصهير.مثلاً :
الأوليفين كثافته ٣,٣ مم/ سم٣ و البلاجيوكليز متوسط التركيب كثافته ٢,٧ مم/ سم٣ واللوسيت كثافته ٢,٥ مم/ سم٣

٢. **التفاصل بالترشيح:** Filter Pressing
يحدث هذا النوع من التفاصل في مراحل متأخرة من التبلور حيث توجد كميات كبيرة من البلورات بينها سائل متبقي يحاول التحرك إلى مناطق الضغط المنخفض.
تضغط البلورات على السائل المتبقي فيمر من خلاله ليطفو على سطح غرفة الصهارة ليكون نطاقا علويا مختلف التركيب أو يمكن أن يحقن كقواطع متأخره.

٣**. التفاصل بالسريان**: Flowage Differentiation
عند تركز البلورات بعيدا عن جدران المسار التي تتحرك عبره الصهارة (تتركز البلورات في وسط مجرى الصهارة) فيؤدي هذا إلى عدم تفاعل بين البلورات وبقية السائل.

. النطاقية: Zoning
تشيع هذه الخاصية في معادن البلاجيوكليز. التبريد المفاجئ يؤدي إلى عزل لب البلورات ومنعها من التفاعل مع بقية السائل.
نتيجة للنطاقية يبتعد التركيب الكيميائي للسائل المتبقي أكثر وأكثر عن التركيب الكيميائي الأولي للصهارة.

عدم امتزاج الأطوار السائلة Liquid Immiscibility.
يحدث هذا اثناء انخفاض درجة الحرارة عندما تنفصل الصهارة الأولية كاملة الامتزاج إلى جزئين غير ممتزجين.

تحرك المتطايرات: Movement of volatiles
يلعب تحرك المتطايرات (المكونات الغازية) دورا مهماً في التفاصل الصهاري وبالأخص في المراحل الأخيرة من التبلور. الطور الغازي Gaseous Phase يعمل على رفع أيونات العناصر الخفيفة مثل Na إلى أعلى بصحبته وبالتالي يؤدي إلى حدوث نوع من التفاصل الصهاري.

التمثل الصهاري: Magmatic Assimilation

يشتمل التمثل الصهاري عادة على كل من العمليات التالية :

- التفكك الميكانيكي.
- التفاعل الكيميائي.

التفكك الميكانيكي هو تكسر وتشقق وسقوط أجزاء من الصخور الاقليمية country rocks في الصهارة
التفاعل الكيميائي يحدث بين الصهارة واجزاء الصخور الاقليميةالساقطة في الصهارة وكنتيجه لهذا التفاعل يتحرك التركيب الكيميائي للصهارة ناحية تركيب الصخور الاقليمية والعكس صحيح.

أهم العوامل التي تتحكم في عملية التمثل الصهاري هي:

- درجة حرارة الصهارة.
- الاتزان بين السائل والمادة الصخرية.
- وضع ترتيب المعادن في سلسلة التفاعل.
- التركيب الكيميائي للصهارة
- التركيب المعدني للصخور الاقليمية
- الضغط السائد أثناء عملية التمثل.

المعادن الأساسية المكونة للصخور النارية:

- المعادن الأساسية هي التي تكون الجزء الأكبر من الصخور النارية (<٩٠%).
- تشكل معادن السيليكات الجزء الأعظم من ناحية الحجم.
- **المجموعات الرئيسة لمعادن السيليكات هي:**

الكوارتز
الفلسبارت المعادن الفلسيه
الفلسباثويدات
الأوليفين
البيروكسين
الأمفيبول المعادن المافيه
ألمايكا

الكوارتز :

- ألفا كوارتز alpha quartz يتبلور في درجات حرارة أقل من ٥٧٠ درجة مئويه.
- بيتا كوارتز beta quartz يتبلور في درجات حرارة أعلى من ٥٧٠ درجة مئوية
- هناك ارتباط كبير بين نسبة السيليكا SiO2% في الصخر الناري وبين كمية الكوارتز الموجودة في ذلك الصخر.
- عندما تصل نسبة السيليكا حوالي ٦٥% يبدأ ظهور الكوارتز وكلما زادت هذه النسبة كلما زادت نسبة الكوارتز.
- هناك صور أخرى للسيليكا الحره غير الكوارتز تتواجد في الصخور النارية منها:

الكالسيدوني chalcedony
التريديميت tridymite

الكريستوبليت: cristobalite

- هذه الأنواع الثلاثة عبارة عن كوارتز دقيق التحبب جدا.
- الكالسيدوني يتبلور في العروق الحرمائية Hydrothermal veins
- التريديميت والكريستوبليت ينحصر وجودهما تقريبا في الصخور البركانية أو في الفراغات الموجودة بها.

مجموعة الفلسبارات: Feldspars

- تشكل هذه المجموعة أهم معادن الصخور الناريه على الاطلاق:

سلسلة الفلسبار
سلسلة البلاجيوكليز

الفلسبار القلوي: Alkali Feldspar

• يكون الفلسبار القلوي سلسلة محلول جامد solid solution بين المركبين:
أورثوكليز KAISi3O8–— ألبيت NaAISi3O8
• يكون كل من الألبيت (Ab) والأورثوكليز (Or) سلسلة محلول جامد بينهما امتزاج كامل في درجات الحرارة المرتفعة فقط ويقل هذا الامتزاج تدريجيا مع انخفاض درجة الحرارة.

١-**الميكروكلين:** microcline
يتكون في درجات الحرارة المنخفضة ولذلك ينحصر وجوده في الصخور الجوفيه فقط ولا يوجد في الصخور البركانية.
٢-**الأورثوكليز:** orthoclase
يتكون من الصهارة في درجات الحرارة المتوسطة لذلك ربما يوجد مع السنادين في الصخور البركانية وكذلك مع الميكروكلين في الصخور الجوفيه.
٣-**السنادين:** sanadine
يتكون من الصهار في درجات الحرارة المرتفعة فقط ولذلك لا يوجد إلا في الصخور البركانية فقط.
٤-**الألبيت:** **albite**
يوجد في كل من الصخور البركانية والجوفية.
٥-**الأنورثوكليز:** anorthoclase
يعتبر أقل الفلسبارات القلوية شيوعاً وهو متوسط التركيب بين السنادين والألبيت.
أكثر تواجده في الصخور البركانية.
٦-**البيرثيت:** perthite **و الأنتيبيرثيت** antiperthite
تقل قابلية المزج بين الفلسبار الصودي والفلسبار البوتاسي مع انخفاض درجة الحرارة وينفصلان عن بعضهما او يلفظ أحدهما الأخر ويكونا ما يعرف بالنمو المشترك اللفظي ex-solution intergrowth حيث يكون أحد الفلسبارين الجزء الأكبر من البلورة ويكون الفلسبار الآخر مكتنفات بداخلها.
إذا كان الجزء الأكبر من البلوره فلسبار بوتاسي يحتوي على ملفوظات ex-solution من الألبيت تسمى البلورة بيرثيت وإذا حدث العكس فإنها تسمى أنتيبيرثيت.
يشيع البيرثيت في الصخور الجوفيه.

مجموعة البلاجيوكليز: Plagioclase

• معادن البلاجيوكليز تكون سلسلة محلول جامد متصل في جميع درجات الحرارة بين الألبيت والأنورثيت.
• تقسم معادن البلاجيوكليز إلى ستة معادن حسب تركيبها الكيميائي (النسبة بين Ab و An).
• أهم ما يميز معادن البلاجيوكليز (خاصة الكلسي منها) هو التغيير إلى سوسيريت Saussuritization وهو خليط من معادن الأبيدوت epidoteو الأكتينوليت actinolite والكلوريت chloriteوالكالسيت calciteوالألبيت albite.

مجموعة الفلسباثويدات: Feldspathoids

• أهم معدنين في هذه المجموعة هما النفلين nepheline واللوسيت leucite وهما غير مشبعين بالسيليكا ولذلك لا يظهران إلى في الصخور النارية غير المشبعه (أي أن كمية السيليكا في الصهار أقل مما هو مطلوب لتكوين الفلسبارات فيتكون بدلا منها لفلسباثويدات).

المعادن المافيه:

مجموعة الأليفين: Olivine

● تتكون مجموعة الأليفين من عدة معادن في سلسلة محلول جامد واحد بين معدني الفورشتريت ((Mg2SiO4 Forsterite و الفياليت(Fe2SiO4 Fayalite)
• أكثر هذه المعادن شيوعاً هو الفورشتريت.
• يوجد الفورشتريت غالباً في الصخور فوق المافيه والمافيه حيث يكون تركيبه حوالي Fo88.
• يتميز بشكله البلوري الشائع وهو المنشور القصير وكذلك بتضاريسه المرتفعه ومظهره السكري وبتشققاته غير المنتظمة والمتقطعه.

مجموعة البيروكسين: Pyroxene

● تشتمل مجموعتي البيروكسين على سلسلتي محلول جامد رئيستين هما:
سلسلة البيروكسين المعيني orthorhombic pyrox وسلسلة البيروكسين أحادي الميل monoclinic pyrox
• تكون السلسلة الأولى محلول جامد بين الانستاتيت Enstatite (MgSiO3) والفيروسيليت ferrosilite ((FeSio3).
• أهم معادن هذه السلسلة الانستاتيت Enstatite والهيبرثين Hyperthene
• السلسلة الثانية ثلاثية الأطراف (انستاتيت – فيروسيليت – ولاستونيت). أهم معادن هذه السلسلة الأوجيت augite والبيجونيت pigeonite والدايوبسيد diopside.
• يضاف إلى هذه السلسلتين البيروكسينات القلوية وأهمها الأيجيرين Aegerine و الأيجيرين أوجيت aegerine augite.

الأنستاتيت:
اكثر معادن البيروكسين شيوعا في الصخور فوق المافيه.

الهيبرثين:
شائع الوجود في كل من الصخور النارية المافية وفوق المافيه .

الدايوبسيد:
ليس شائعا في الصخور النارية وينحصر وجوده في بعض أنواع الصخور المافيه ولكنه شائع في الصخور المتحوله خاصة تلك الغنية بالكالسيوم والمغنيسيوم.

الأوجيت:
أكثر معادن البيروكسين شيوعا في الصخور النارية ويوجد في معظم أنواعها من فوق المافيه إلى لمتوسطة.لونه يتراوح من عديم اللون إلى بنى باهت جداً ومع زيادة نسبة الحديد فيه تزداد شده اللون ويسمى فيروأوجيت.

الإجيرين:
لكنه غالبا ما يحتوي على قليل من الحديد NaAlSi2O6بيروكسين أحادي الميل صودي تركيبه المثالي والمغنيسيوم لوجود سلسلة محلول جامد بينه وبين الاوجيت.يوجد في الصخور القلوية سواء المشبعه أو غير المشبعه بالسيليكا.

أهم الخصائص البصرية التي يستعان بها في التمييز بين معادن البيروكسين المختلفة مجهريا هي : اللون والتغيير اللوني – العلامه البصريه – الزاوية البصرية – زاوية الانطفاء.

مجموعة الأمفيبول:Amphibole

• الأمفيبول يتكون من مركب سيليكاتي معقد يحتوي على كميات متفاوته من العناصر التالية:
.OH) ion)&،Ca,Mg,Fe,Al
• أكثر معادن هذه المجموعة **شيوعا هو الهورنبلند Hornblende .**

مجموعة الميكا: Mica

• تتكون هذه المجموعة من عدة مركبات سيليكاتيه تحتوي على كل من Al+K بالإضافه إلى hydroxyl ion .((Oh
• أهم معدنين في هذه المجموعة هما المسكوفيت muscovite و البيوتيت biotite.

المعادن الإضافيه ونواتج التغيير:

• المعادن الإضافيه توجد غالبا على هيئة حبيبات دقيقة منبثه بين المعادن الأساسية وأحيانا على هيئة مكتنفات بداخلها. ولبعض هذه المعادن دلالات هامه بالنسبه لتركيب الصهار تكونت منه الصخور الناريه .
تنشأ نتيجة تأثر المعادن الأساسية بعوامل التجويه أو تأثير المحاليل alteration products• نواتج التغيير الحرمائية أو المياه الجوفيه . من نواتج التغيير مثلا المعادن التاليه: الكلوريت والسربنتين والكربونات والمعادن الطينية والابيدوت.

أنسجة الصخور الزجاجية:

• تبلور الصهير السريع الذي يؤدي إلى تكون الزجاج يسمى devitrification.
• تنمو بلورات ليفيه عاموديه على الشقوق في الزجاج أو على شكل شعاعي على أطراف البلورات الكبيرة مكون أجساما دائرية تعرف باسم **spherulite.**

أنسجة الإنسياب: Flow Textures.

• إذا استمر الأنسياب خلال مراحل التبريد والتبلور للصهير ينتج عن ذلك ترتيب للبلورات في اتجاه الأنسياب وينطبق ذلك على بلورات الفلسبار الصفائحيه مكونه النسيج التراكيتي.

أنسجة النمو المشترك: Intergrowth Textures.

• أن معادن الصخور الناريه ربما تتبلور في نفس الوقت أو في تتابع أو بعضها ينمو على حساب الآخر.

• **يمكن تقسيم الصخور النارية اعتمادا على عدة عوامل** :
موقع التكوين.
النسيج.
التركيب المعدني.
التركيب الكيميائي.
التقسيمات التي تعتمد على موقع التكوين (أو التموضع).
بركانية volcanic
الصخور التي تتكون على أو بالقرب جدا من سطح الأرض.تكون هذه الصخور دقيقة جداً او زجاجية .
هايبيسل Hypabyssal
الصخور النارية الجوفيه التي تتكون بالقرب من سطح الأرض. تتميز هذه الصخور بنسيجها البورفيري.
جوفيه Plutonic
الصخور النارية الجوفيه التي تتكون في أعماق باطن الأرض. حبيبات هذه الصخور تكون متوسطة إلى خشنه.
سطحية Extrusive
الصخور النارية الفتاتية fragmental أو خلافها التي تنبثق على سطح الأرض.
متداخله Intrusive
الصخور النارية التي تتموضع تحت سطح الأرض.

التقسيمات التى تعتمد على النسيج:

• **فنريتك** phaneritic
البلورات ترى بالعين المجردة
• **أفانيتك** Aphanitic
البلورات لا ترى بالعين المجردة بل بالمجهر
النسيج البورفيري (نوعين من البلورات مختلفين في الحجم)
– بلورات ظاهرة phenocryst
– الأرضية groundmass بلورات دقيقة أو زجاجية
• **زجاجية** glassy
• فتاتية بركانية volcanoclastic
بلورات و فتات من الصخور في أرضية بركانية

التقسيم المعدنى:

• يعتمد هذا التقسيم على واحد أو أكثر من المتغيرات الهامه التالية:
نوع الفلسبار ونسبته المئوية.
وجود أو عدم وجود الكوارتز –الفلسباثويدات أو الأليفين
نوع المعادن المافيه ونسبتها المئوية.
حجم الحبيبات والنسيج.

• بعض هذه المتغيرات مرتبط أحدها بالآخر فمثلا: زيادة محتوى الأنورثيت في البلاجيوكليز تقابله في العادة زيادة في المعادن الفيرومجنيزية وانخفاض في محتوى الكوارتز والفلسبار القلوي.
• وجود الكوارتز يقابله دائماً عدم وجود لمعادن الفلسباثويدات والالفين.

• **تستخدم بعض الأنسجة كأسماء للصخور مثلا:**

بجماتيتpegmatite – صخر خشن الحبيبات جدا تركيبه جرانيتي إلى جرانوديوريتي .
أبليتaplite – صخر دقيق إلى سكري الحبيبات يفتقر غالبا إلى المعادن المافيه ويصاحب البجماتيت في التواجد.
ابسيديانobsidian – زجاج بركاني لونه رصاصي إلى أسود.
بيومس pumice- زجاج رغوي.
سكوريا scoria- صخر بركاني فتاتي يتكون من فتات دقيق.
بريشيا breccia- صخر بركان فتاتي مكون من فتات خشن.

التقسيم الكيميائى :

تقسم الصخور النارية من الناحية الكيميائية بناءا على عدة أسس:
نسبة السيليكا المئوية SiO2%
صخور فلسيه Felsic (مثل الجرانيت) نسبة السيليكا(SiO 2(أكثر من ٦٦%
صخور متوسطه Intermediate (مثل الديوريت) نسبة السيليكا ٥٢-٦٦%
صخور مافية Mafic (مثل الجابرو) نسبة السيليكا ٤٥ -٥٢%
صخور فوق مافية Ultramafic(مثل الديونيت) نسبة السيليكا أقل من ٤٥%

التقسيم المعيارى: Normative Classification

• يعتمد التقسيم المعياري على ما يسمى بـ CIPW Norm
• النورم norm هو وسيلة لتحويل التركيب الكيميائي للصخر الناري إلى التركيب المعدني النموذجي لهذا الصخر.
• يستعمل هذا التقسيم بصورة عامة في الصخور البركانية بحيث يعاد حساب التحليل الكيميائي لينتج عن ذلك مجموعة قياسيه من المعادن المعياريه

التقسيمات التي تعتمد على تشبع الألمنيوم في الصخر:

تقسم الصخور الناريه حسب تشبعها بالألمنيوم نسبة إلى أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم (Na_2O+K_2O+Cao) وتنعكس هذه العلاقة على نوعية المعادن المافيه الموجودة في الصخر.
١. فوق الومونيه Na_2O+K_2O+CaO<Peraluminus (Al_2O_3 المعادن المثالية التي يمكن أن تظهر في مثل هذه الصخور هي تلك المعادن الغنيه بمحتوى الألمنيوم مثل: الكورندم والمسكوفيت والتوباز. كما يظهر الكورندم ضمن المعادن المعيارية norm.
٢. الومنيه Na_2O+K_2O+CaO> Na_2O+K_2O but<Metaluminus (Al_2O_3 هذه تمثل مظم الصخور النارية الشائعة و تتميز هذه الصخور بعدم احتوائها على المعادن الغنية بالألمنيوم. معادن البيوتيت والهورنبلند مثاليه في مثل هذه الصخور.. تحت الومنية Subaluminus ($Al_2O_3=Na_2O+K_2O$
٣. فوق قلوية Na_2O+K_2O>Peralkaline (Al_2O_3
المعادن المثالية: معدن الأكميت acmite المعياري ومعدني الأجيرين Aegerine والربيكيت riebeckite.

التقسيمات التي تعتمد على المؤشر الكلس قلوي:

- مؤشر الكلس قلوي Alkali Lime Index يعتبر أحد الوسائل الممتازة لمقارنه قلوية مجموعات من الصخور النارية.
- يقسم مؤشر الكلس قلوي الصخور إلى أربعة مجموعات هي:

كلسية Calcic < 61% SiO_2
كلسقلوية Calcalkalic 56-61% SiO_2
قلوية كلسية Alkali-Calcic 51-56% SiO_2
قلوية 51% SiO_2<Alkalic

- تسمى الاجسام الصخرية المتداخلة **بلوتونات.**
- البلوتونات الكبيرة تكون حبيباتها متوسطة إلى خشنة.

- **تقسم البلوتونات إلى مجموعتين:**

بلوتونات غير متوافقة Discordant Plutones
بلوتونات متوافقة Concordant Plutones

- البلوتونات غير المتوافقة تقطع التراكيب البنائية للصخور القديمة وتكون في الغالب كتليه massive وحدودها الفاصلة مع الصخور غير منتظمة الشكل ومعروجه.
- البلوتونات المتوافقة تكون حدودها الفاصلة مع الصخور المحيطة موازية لطبقات وأسطح الصخور المحيطة. في الغالب تكون هذه الأجسام صفائحية الشكل ذات جوانب مسطحة ومتوازية.

الباثوليث Batholith

- الباثوليث هو أكبر أنواع الأجسام الصخرية غير المتوافقة. و يتكون من صخور جرانيتية.
- تغطي صخور الباثوليثات مساحات شاسعة تقدر بعدة آلاف من الكيلومترات المربعة (باثوليث أيداهو في الولايات المتحده الأمريكية يغطي حوالي ٤٠٠٠ كم٢).
- تتكون الباثوليثات في اعماق سحيقة داخل القشرة الأرضية ولا تظهر على سطح الأرض إلا بعد مرور ملايين السنين بعد أن تزيح عوامل التعريه طبقات الصخور القشرية التي تعلو هذه الباثوليثات .

الستكوات Stocks

- الستكوات أجسام بلوتونية صغيرة غير متوافقة تحتل مساحات اقل من ١٠٠كم٢.

جدة موازية Sill

- هو أحد انواع البلوتونات المتوافقة حيث توجد على هيئة أجسام صفائحية موازية لطبقات الصخور المحيطة.

لكوليث Lacolith

- هو أحد أنواع البلوتونات المتوافقة ويتكون عندما تضغط الصهارة على طبقات الصخور التي تعتليها فتكون الشكل القبابي dome.
- الصخور المحيطة في هذه البيئة يجب ان تكون مرنة وقابلة للطي.

لابوليث Lapolith

هو أحد أنواع البلوتونات المتوافقة وله شكل الطبق بحيث تكون جوانبه موازية للطبقات العليا والسفلى للصخور المحيطة

عشائر الصخور النارية:

عشيرة الصخور فوق المافية:

- تتكون الصخور فوق المافية أساسا من معادن مافيه يغلب عليها البيروكسين والأليفين .
- تحتوي الصخور فوق المافية على أكثر من ٩٠% معادن مافيه.
- تتميز الصخور البركانية فوق المافية بنسيج خاص يشبه إلى حد كبير خبث افران صهر المعادن.

عشيرة الصخور المافية:

- تضم هذه العشيرة كل الصخور البازلتيه وما يناظرها من الصخور الجوفيه والغورية (الصخور الجابروية – قواطع الديابيز).
- صخور هذه العشيرة تكون تحت مشبعه إلى مشبعه.

عشيرة الصخور المتوسطة:

- تضم صخور هذه العشيرة كل الصخور المشبعة الى فوق المشبعة قليلا أو تحت المشبعة قليلا (أي انها تحتوي على قليل من الكوارتز أو قليل من الفلسباثويدات) .
- تكون الفلسبارات الجزء الأكبر من التركيب المعدني لهذه الصخور .

- **تقسم صخور هذه العشيرة إلى ثلاث فصائل حسب نوعية الفلسبارات الأساسية :**

فصيلة الانديزيت Andesite- ديوريت Diorite
(البلاجيوكليز > الفلسبار القلوي)
فصيلة اللاتيت Latite- مونزونيت Monzonite
(البلاجيوكليز = الفلسبار القلوي) .
فصيلة التراكيت Trachyte- سيانيت Syenite
(البلاجيوكليز < الفلسبار القلوي).

عشيرة الصخور الفلسية:

- كل صخور هذه العشيرة فوق مشبعة بالسيليكا حيث تحتوي على أكثر من ١٠% كوارتز كما تحتوي على الفلسبارات كمكون أساسي.
- **تقسم صخور هذه العشيرة إلى ثلاث فصائل:**

فصيلة الداسيت Dacite- جرانوديوريت Granodiorite
(البلاجيوكليز هو الفلسبار الأساسي).
فصيلة الداسيت – مونزوجرانيت Monzogranite
(البلاجيو كليز = الفلسبار القلوي)
فصيلة الرايوليت Rhyolite – سينوجرانيت Syenogranite
(الفلسبار القلوي هو السائد).

- تحتوي هذه الصخور على أقل من ٤٥% سيليكا.
- ألوان صخور هذه العشيرة قاتمة (رصاصي - أخضر - أسود)
- الصخور فوق المافيه توجد في تلازمين اساسيين:

كوحدة من وحدات تلازمات الأفيوليت Ophiolite.
ضمن التداخلات المافيه الطباقية.

• تنشأ هذه الصخور في كلتا الحالتين نتيجه تراكم المعادن المافيه من الصهارات البازلتية المختلفة عند بداية التبلور .
• ترتبط كل رواسب الكروميت chromites بالصخور فوق المافية الجوفيه .

أنواع الصخور فوق المافيه:

الديونايت Dunite
• يطلق هذا الاسم على الصخور التي تتكون كليا من الاليفين .
• معظم الاليفين في الدونايت غني بالمجنيسيا (Fo>٨٨).
• يظهر الديونايت نسيجا تراكميا دالا بذلك على طريقة تكون هذا الصخر.
• يكون هذا الصخر دائما متغير بدرجات متفاوته إلى سربنتين.

البيرودوتايت Peridotite
• يطلق هذا الاسم على الصخور فوق المافيه التي تتكون من الاليفين والبيروكسين كمعادن اساسية . ويمكن تخصيص الاسم حسب نوع البيروكسين ونسبته مثلا:
هارزبرجايت harzburgite (مكون من olivine+opx)
ليرزولايت lherzolite (مكون من opx+cpx+ol بكميات متساوية)
ويرلايتً wherlite (مكون من olivine + cpx)

الكمبرليت Kimberlite
• صخور فوق مافيه عنية بالمغنيسيوم والبوتاسيوم ويعتبرها البعض نوع من أنواع البريدوتيت الغني بالمايكا
• ينحصر وجود الكمبرليت في الرواسخ القاريه القديمة مثل :
راسخ شرق وجنوب افريقيا
هضبة سيبيريا
البرازيل
مقاطعة جرينفيل في كوبيك كندا.
• تتكون معظم صخور الكمبرليت من البريشيا التي تملأ الأنابيب (أنابيب الألماس في جنوب افريقيا) .
• تنشأ أصهرة الكمبرليت في أعماق سحيقة جدا (١٥٠-٣٠٠كم) وتصل إلى السطح بسرعة فائقة بفعل الانفجارات.
• غالبا ما تحتوي هذه الأصهرة على مكتنفات تندفع إلى السطح مع هذه الأصهرة من المستويات المختلفة التي مرت عليها هذه الأصهره .
• يتكون الكمبرليت من المعادن التاليه:
أوليفين مغنيسي Mg-Olivine
فلوغوبيت phlogopite
ديوبسيد كرومي Cr-Diopside
انستيت Enstatite
جارنت مغنيسي (وردي اللون) Mg- Garnet
إلمنايت مغنيسي Mg-Ilmanite

كل هذه المكونات توجد في أرضية من الأوليفين المتحلل إلى سربنتين وكالسيت

السربنتينايت Serpentinite
• يتكون هذا الصخر كليا من معادن السربنتين الناتجة عن تغيير المعادن الأساسية في الصخور فوق المافيه

• تضم هذه العشيرة أكثر الصخور البركانية شيوعا في القشرة الأرضية وهي الصخور البازلتيه. وتقسم إلى فصيلتين:

فصيلة الصخور المافية الكلسقلوية
فصيلة الصخور المافيه القلوية

انسجة الصخور البركانية والغورية:

- انسجة الصخور البازلتية هي الأنسجة التي تميز البازلت بنوعياته المختلفة.
- تعتبر من أحد المعايير لتمييزه وتعريفه وأهم عنصر فيها أن البلاجيوكليز يتخذ هيئة نضديه Tabular
- أهم هذه الأنسجة هي:

النسيج البيني texture Intergrnular
النسيج البيني الزجاجي Interstal texture
النسيج الأوفيتي texture Ophitic
النسيج شبه الأوفيتي texture Subophitic
النسيج الأوفيتي الزجاجي texture Hyalopilitic

انسجة الصخور الجوفيه المافيه:

- **تقسم انسجة الصخور الجابرويه إلى قسمين رئيسين يرتبطان بكيفية نشأة الصخر وهما:**

الأنسجة التراكمية
الأنسجة التحببية

الأنسجة التراكمية: Cumulate texture

- الجزء الأكبر من صخور الجابرو في القشرة الأرضية يكون تداخلات مافيه طباقيه أو يكون اجسام طباقيه ضمن تلازمات الأوفيوليت حيث يتراوح تركيبها من التروكتولايت troctolite إلى الأنورثوسيت anorthosite.
- تتميز هذه الصخور بأنسجة تعكس طريقة تكونها حيث تتكون نتيجة تراكم البلورات وترسبها في قاع الغرفة الإنصهاريه وتسمى هذه الأنسجة بالأنسجة التراكمية Cumulate texture حيث تترتب البلورات اللوحية للبلاجيوكليز في مستويات شبة متوازية ويطلق على هذا النسيج الترقق الناري **Igneous Lamination.**

الأنسجة التحببية:

تتخذ الحبيبات شكلا عديماًالأوجه وذو ابعاد متقاربه وهذه تميز تداخلات واجسام الصخور الجابروية التي لم يحدث فيها تمايز وتطبق اثناء تكونها من الصهار.

التغيير: Alteration

- أكثر المعادن تعرضاً لهذا التغيير هو معدن الأليفين .
- معادن السربنتين هي النواتج الرئيسة لتحول المعادن المافيه .
- تتفاوت درجات التحول وقد تصل إلى ١٠٠% حينئذ يصبح الصخر مكون كليا من معادن السربنتين .
- البيروكسين أقل تأثراً بالتغيير إلا في الحالات الشديدة.
- معادن السربنتين حبيباتها دقيقة جدا وعلى شكل ليفي أو على شكل صفائحي **.**

أنواع البازلت:

البازلت الثيوليتي Tholeiitic Basalt **والبازلت الكلسقلوي** Calcalkaline Basalt

- يتشابه هذين النوعين من البازلت من حيث التركيب المعدني لكنهما يختلفان في التركيب الكيميائي.
- يتكون البازلت الثيوليتي من اللابرادورايت والأوجيت الديوبسيدي بالإضافة إلى الأوجيت أو الهايبرثتين (أو الإثنين معا).
- النسيج المميز للثيوليت هو النسيج البيني او الزجاجي البيني وفي بعض الأحيان النسيج البوريفيري (بلورات كبيرة من الفلسبار أو البيروكسين – بلورات الفلسبار الكبيرة تكون في العادة أغنى في الكالسيوم من بلورات

الفلسبار الموجودة في الأرضية).
• أهم المعادن الإضافيه هي الإبتايت المعادن المعتمة (المجناتيتmagnetite أو التيتانيومجنتيتtitanomagnetite والهيماتيتhematite الذي ينتج من أكسدة الماجنيتيت).
• قد يحتوي الثيوليت على نسبة ضئيلة من الكوارتز في الفراغات البينية وهذا الكوارتز يعتبر أولي أي أنه تبلور من الصهارة مباشرة ويدل على ان الصخر فوق مشبع قليلا.

الأليفين ثولييت بازلت: Olivine Tholeiite
• يشبه البازلت الثولييتي في التركيب المعدني والنسيج فيما عدا احتوائه على بلورات كبيرة من الأليفين .
• بلورات الأليفين لاتوجد في الأرضية ولها شكل متكامل إلى نصف متكامل
• يبدو علىمعظم بلورات الأليفين مظهر التآكل الصهاري وهذا يدل على أن الأليفين غير متزن مع الصهار الثيوليتي لكنه يتكون منه في البداية ثم يعود للتفاعل معه ليكون البيروكسين ولكن التفاعل لا يتم إلى النهاية بسبب التبريد السريع.

بازلت الأليفين القلوي:Alkali Olivine Basalt
• يشبه البازلت الثيوليتي في كل انسجته لكنه يختلف عنه في التركيب المعدني .
• الأليفين يوجد في هذا الصخر كمعدن رئيسي كما أنه يشيع في البلورات الكبيرة في النوعيات البورفيريه.
• الأليفين أغنى في الحديد من الأليفين الذي قد يوجد في الثيوليت.
• البيروكسين هومن نوع الأوجيت الغني بالتايتنيوم (له تغير لوني ضعيف من عديم اللون إلى وردي فاتح).
• وجود التيتانوجيت في البازلت من الدلائل المؤكدة على انه بازلت قلوي.
• تدل خصائص بازلت الأليفين القلوي على أن هذا الصخر ينشأ من صهار بازلتي قلوي تزيد فيه نسبة القلويات إلى الألومنيا عن ١:١ لذلك يدخل اكسيد التيتانيوم في تركيب الاوجيت بدلا من الألمنيوم .

نوعيات الصخور الجابروية:
• تقسم الصخور الجابروية وتسمى على اساس معادنها الرئيسية و الإضافيه.
• هناك نوعيتان من الصخور الجابروية :
الصخور الجابروية العادية
الصخور الجابرويه القلوية
• الصخور الجابروية العادية وهي اكثر انواع الجابرو شيوعا وتتكون من معادن البلاجيوكليز + البيروكسين + الأليفين.
• الصخور الجابرويه القلوية وهي الصخور التي تدخل في تركيبها معادن الأورثوكليز او الميكروكلين مصاحبا للبلاجيوكليز بالإضافة إلى نسب مختلفة من الفلسباثويدات.

الصخور الجابرويه العادية:
الجابرو العادي:Gabbro
• هو أكثر الصخور الجابرويه شيوعا
• يتكون هذا الصخر من كميات متساوية من البلاجيوكليز والأوجيت في نسيج خشن مع المعادن الإضافيه.
• البلاجيوكليز تركيبه يتراوح من اللابرادورايتlabradorite إلى البايتونايتbytownite وقد يكون متمنطقا أو غير متمنطق .
• الأوجيت يوجد على شكل شبه مكتمل أو غير مكتمل الأوجه وذو أبعاد متساويه تقريبا او على هيئة حبيبات بينية بين حبيبات البلاجيوكليز وقد يحتوي على رقائق نحيفة ملفوظة من البيروكسين المعيني.
• البيوتايت قد يوجد بكميات ضئيلة على هيئة اطراف تفاعليه حول اكاسيد الحديد او على هيئة حبيبات بينية .

النورايت: Norite
• يختلف النورايت عن الجابرو العادي بوجود البيروكسين المعيني OPX بدلا من الأوجيتCPX وقد يكون مصاحبا له وهذا يدل على وجود تدرج تام بين الجابرو العادي والنورايت.

• عندما يتساوى نوعي البيروكسين فيمكن استخدام تعبيري الجابرو النوريتي noritic

سيانوجابرو: Syengabbro أو النورايت الجابروي gabbro norite.
• البيروكسين المعينيOPX في النورايت هو الهيبرثين او البرونزايت.

الاليفين جابرو: ***Olivine*** **Gabbro والاليفين نورايت Olivine Norite**
عندما تزيد نسبة الاليفين في كل من الجابرو والنورايت عن ١٠% فانهما يسميان أليفين جابرو أو أليفين نورايت وغالباً ما تكون حبيبات الاليفين ناقصة الأوجه ومحصورة داخل حبيبات البيروكسين الخشنة.

التروكتوليت: Troctolite
• عندما تزداد نسبة الأليفين زيادة كبيرة بحيث يصبح هو المعدن المافي الرئيسي مع البلاجيوكليز يسمى الصخر تروكتوليت.
• يشيع في التروكتوليت نسيج الكرونا حول الأليفين .

الأنورثوزيت: Anorthosite
• عندما تزيد نسبة البلاجيوكليز في الصخور الجابروية حتى تصل إلى ٩٠% أو أكثر يطلق على الصخر اسم انورثوزيت.
• يوجد الأنورثوزيت على هيئة طباقات متبادله مع الصخور الجابرويه الأخرى في التداخلات الطباقيه او على هيئة اجسام جوفيه هائلة الحجم .
• يشيع نسيج التطبق الناري في صخور الأنورثوزيت المصاحبة للتداخلات الطباقية .

صخور: Gabbros
صخر انتقالي بين الصخور الجابروية العادية والصخور الجابروية القلوية ويحتوي على الأرثوكليز بنسبة تزيد عن ٥% ولكنه لا يحتوي على الفلسباثويدات.

اسيكسايت: Essexite
يحتوي على حوالي ٢٠% اورثوكليز و ٢٠% نيفيلين بالإضافة إلى البلاجيوكليز والمعادن المافية الإضافية.

• **تضم هذه العشائر كل الصخور النارية المتوسطة** التي يقل مؤشرها اللوني عن ٤٠ ويتراوح تشبعها بالسيليكا من فوق مشبعة قليلا إلى تحت مشبعة قليلا.
• تحتوي الصخور المتوسطة على نسبة سيليكا بنسبة تتروح من ٦٢-٥٢%
• تقسم الصخور المتوسطة إلى اربعة عشائر هي:
عشيرة الانديزايت – ديورايت
عشيرة التراكي أنديزايت – مونزونايت
عشيرة التراكيت – سيانيت
عشيرة الفونوليت – السيانيت القلوي

• **ينبني هذا التقسيم على اعتبارين:**
١. وجود او عدم وجود الكوارتز من ناحية والفلسباثويدات من ناحية اخرى.
٢. النسبة الحجمية بين البلاجيوكليز والفلسبار القلوي.
• المعادن المافيه المميزة لهذه العشائر هي: البيروكسين والأمفيبول أما الأليفين ومعادن الميكا فقد توجد بنسب بسيطة في بعض النوعيات المتدرجة إلى الصخور المافيه من ناحية والصخور الفلسية من ناحية أخرى.
• المعادن الإضافية هي : الزيركون السفين والأباتيت والمعادن المعتمة (المجناتيت والتيتانومجنتيت والبايريت)

الصخور البركانية المتوسطة:

الأنديزايت: Andesite

• الأنديزايت اكثر الصخور البركانية انتشاراً
• اكثر اماكن تواجد الأنديزايت في الأحزمة الأوروجينية orogenic belts القديمة والحديثة حيث يكون الصخر الأساسي في السلاسل البركانية الكلسقلوية وكذلك يوجد في مناطق الأنشطة البركانية القارية بمصاحبة البازلت.
• يتكون الأنديزايت من البلاجيوكليز المتوسط والبيروكسين والأمفيبول أو كليهما معاً.
• يشكل البلاجيوكليز المعدن الرئيسي حيث يكون ما بين ٤٠ إلى ٦٠% من حجم الصخر وغالباً ما يوجد على هيئة بلورات بارزة phenocrysts (An85 في اللب إلى An30 في الأطراف) بالإضافة إلى البلورات الصغيرة التي تكون الجزء الأكبر من الأرضية (حوالي An40).

• يمثل البيروكسين في الأنديزايت بكل من الأجيت الديوبسيدي (الغني بالكالسيوم) والهيبرثين الذين قد يوجدا معا في نفس الصخر أو يوجد أحدهما بمفرده.
• يوجد البيروكسين على هيئة بلورات بارزة وكذلك في الأرضية .
• يشكل الأمفيبول احد المعادن المافية الرئيسية في الأنديزايت وقد يوجد الهورنبلند مع البيروكسين في نفس الصخر وقد يسود احدهما على الآخر.
• البيوتايت يأتي في المرتبة الثانية كمعدن مافي رئيسي في الأنديزايت فهو لا يأتي بمفرده بل يكون مصاحبا لأحد المعادن المافية الرئيسية المذكورة سابقاً.
• يتميز الأنديزايت بالنسيج البورفيري.

التراكيت: Trachyte

• يتكون التراكيت اساسا من الفلسبار القلوي الذي يكون أكثر من ٨٠% من حجم الصخر وهو في أغلب الأحيان فلسبار بوتاسي (ساندين).
• قد توجد نسبة بسيطة من البلاجيوكليز في التراكيت .
• التراكيت يكون دائما بورفيريا.
• المعادن المافيه الأساسية هي البيروكسين (أوجيت أو ايجرين اوجيت و احيانا ايجرين) والأمفيبول (هورنبلند وأحيانا ريبيكايت) والبيوتايت.
• المعادن المافية الإضافية غالبا تكون اباتيت apatite و زيركون zircone و سفين sphene وروتيل rutile وقليل من المعادن المعتمة مثل الألمنيت illmenite والتيتانوماجنتيت.
• تتميز معظم صخور التراكيت بنسيج خاص هو النسيج التراكيتي حيث تترتب لاثات الفلسبار الدقيقة في الأرضية موازية لبعضها بشكل واضح جدا وتلتف حول البلورات البارزة الكبيرة بشكل انسيابي يدل على ان نشأة الصخر راجعة إلى انسياب اللابا اللزجة.

الصخور المتوسطة الجوفية والغورية:

الديورايت: Diorite

• الديورايت هو اكثر الصخور المتوسطة انتشارا حيث يوجد على هيئة اجسام جوفيه ضخمة ضمن البثوليثات الجرانيتية المركبة أو على هيئة سحنات حدودية border facies لمثل هذه الأجسام.
• هناك عدة طرق لنشأة الديورايت:
١. بالتمايز الصهاري magmatic differentiation للصهارات الجرانيتية والمتوسطة.
٢. بالتهجين الصهاري magmatic hybridization بين الصهارات الجرانيتية والصهارات المافية.
٣. بالتمثل الصهاري magmatic assimilation للصخور المحيطة بواسطة الصهارات الجرانيتية.

• المؤشر اللوني للديورايت غالبا اقل من ٤٠% لكنه أحيانا يزيد عن ذلك في الصخور المتدرجة إلى الجابرو.
• يتكون الديورايت من البلاجيوكليز والهورنبلند اساسا بالإضافة إلى كميات قليلة من الفلسبار القلوي الكوارتز والبيروكسين والبيوتايت.
• تركيب البلاجيوكليز يتراوح من الإنديزين إلى الأوليجوكليز ويتميز باحتوائه على كثير من المكتنفات الدقيقة من المعادن المافيه او المعادن الإضافيه كما يتميز البلاجيوكليز ايضا بالتمنطق الواضح.

• يشكل الهورنبلند المعدن المافي الرئيسي في الديورايت ويوجد على عدة اشكال منها الشكل الاسفنجي نتيجة احتوائه علىكثير من المكتنفات من المعادن الأخرى او على هيئة منشورات غليظة وقصيرة او منشورات ذات استطالة كبيرة.

• البيروكسين الذي يوجد في الديورايت هو الهيبرثين أو الأوجيت او الإثنين معاً ويشيع وجود اطراف تفاعليه من الهورنبلند حولها.
• البيوتايت هو غالباً من النوعية البنية التي يشيع فيها التغيير إلى كلورايت وكتل من حبيبات السفين الدقيقة.
• الفلسبار البوتاسي الشائع في الديورايت هو الأورثوكليز الذي يوجد في الفراغات او على هيئة اغلفة حول البلاجيوكليز.

المونزونايت: Monzonite
• يحتل المونزونايت وضعا متوسطا بين الديورايت والسيانيت.
• يتواجد غالباً على هيئة سحنات حدودية للتداخلات الجرانيتية.
• يتكون المونزونايت من بلاجيوكليز متوسط او صودي وفلسبار بوتاسي بنسب متساوية تقريبا ويشكلان معا حوالي ٧٠-٨٠% تقريبا من حجم الصخر والباقي يتكون من المعادن المافيه والمعادن الإضافية.
• المعادن المافية الشائعة هي الهورنبلند والبيوتايت .
• النسيج الشائع هو النسيج الحبيبي الخشن.

السيانايت: Syenite
• السيانايت اكثر انتشارا من المنزونايت ويغلب على تركيبه المعادن الفلسية.
• يتكون السيانايت أساسا من الفلسبار القلوي الذي تكون نسبته في حدود ٨٠% من حجم الصخر.
• السيانايت الشائع إما ان يكون فوق مشبع قليلا فيحتوي على قليل من الكوارتز أو تحت مشبع قليلا فيحتوي على قليل من أحد الفلسباثويدات.
• الفلسبار السائد في السيانايت إما أن يكون اورثوكليز أو ميكروكلاين وفي هذه الحالة يسمى السيانايت البوتاسي او يكون الفلسبار السائد هو الألبايت حينئذ يسمى الصخر سيانايت صودي.
• المعادن المافيه الشائعة هي الهورنبلند والبيوتايت واحيانا البيروكسين.
• المعادن الإضافية الغالبة هي الزيركون والسفين والأباتيت والفلورايت والألمنيت.

• جميع الصخور التي تحتوي على الكوارتز بنسبة تزيد عن ٢٠% تسمى صخورا فلسية .
• الصخور الجرانيتية هي اكثر الصخور النارية شيوعا في القشرة الأرضية وتقع ضمن الصخور الفلسية.
• تزيد نسبة السيليكا في هذه العشائر عن ٦٦% وبالتالي فهي صخور فوق مشبعة بالسيليكا.
• تكون المعادن الفلسية الجزء الأكبر من هذه الصخور.
• هناك تدرج تام بين الصخور الفلسية والصخور المتوسطة.
• **تقسم الصخور الفلسية إلى اربعة عشائر**:
عشيرة الداسايت – الجرانوديورايت
عشيرة الرايوداسايت – مونزوجرانيت
عشيرة الريولايت – سينوجرانيت
عشيرة الريولايت القلوي – جرانيت الفلسبار القلوي.
• ينبني هذا التقسيم على اساس النسبة الحجمية بين الفلسبار القلوي والبلاجيوكليز.
• المعادن المافيه الرئيسة في هذه العشائر الثلاثة الأولى هي البيروكسين و الأمفيبول والميكا.
• تتميز الصهارات الفلسية التي تنشأ منها الصخور البركانية التابعة لهذه العشائر بلزوجتها العالية.
• تؤدي اللزوجة العالية للصهارات الفلسية التي تنبثق على سطح الارض او بالقرب منه إلى تكون نسبة عالية من الزجاج الصخري أو تكون نواتج التبريد كلها زجاجا صخريا.

الزجاج الصخري الفلسي
• ينشأ هذا الزجاج نتيجة التبريد السريع للصهارات الفلسية
• يطلق على الزجاج الصخري تسميات تعبر اساسا عن نسيجه. ومنها ما يلي:

ابسيديان: Obsidian
يتكون الابسيديان كلية أو في معظمه من زجاج فلسي مدموك ذو لون اسود وبريق زجاجي وتشقق محاري.
يعزي البريق الزجاجي إلى عدم احتواء الأبسيديان على الماء الا بنسبة ضئيلة.
الزجاج الاسفلتي Pitchstone
هذا الزجاج له نفس خصائص الابسيديان فيما عدا البريق الذي يكون هنا شمعيا أو صمغيا وذلك نتيجة احتوائه على نسبة من الماء أكثر من الأبسيديان قد تصل إلى حوالي ١٠%.
النشق: Pumice
زجاج صخري اسفنجي يحتوي على فجوات كثيرة تنشأ نتيجة تصاعد الغازات وغليان المواد المتطايرة اثنا تجمد اللابا في الظروف السطحية.
الزجاج المحاري: (بيرلايت) Perlite
أثناء تبريد الأبسيديان أو الزجاج الأسفلتي تحدث بهما تشققات محاريه دائرية أو شبه دائرية فإذا كانت هذه التشققات شائعة في الزجاج فيطلق عليه اسم البيرلايت.

الصخور الفلسية البركانية:

• تشمل هذه الصخور ثلاث نوعيات كلسقلوية هي الداسايت والريوداسايت والريولايت ونوعية واحده قلوية هي الريولايت القلوي.
• يصعب تصنيف هذه الصخور بدقة بسبب التحبب الدقيق جدا دون الرجوع إلى تركيبها الكيميائي.
• يشيع النسيج البورفيري في هذه الصخور.
• تتكون البلورات البورفيريه من كل المعادن الاساسية. وهي : الكوارتز (أكثر من ٢٠%) والفلسبارت (البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي) والمعادن المافيه.
• يوجد الكوارتز على هيئة بلورات بورفيريه وكثيرا ما تكون متآكلة من أحد جوانبها أو محتويه على مكتنفات كثيرة من الزجاج الصخري

• فيما يلي بعض أنواع الصخور البركانية الفلسية الشائعة:

الداسايت: Dacite
• الفلسبار السائد في الداسايت هو البلاجيوكليز الصودي او المتوسط وتبلغ نسبته اكثر من ضعفي الفلسبار القلوي (أكثر من ثلثي حجم مجموع الغلسبارات).
• يوجد البلاجيوكليز على هيئة بلورات بورفيريه (غالبا ما تكون متمنطقه) وكذلك في الأرضية.
• المعادن المافيه هي إما بيوتايت او هورنبلند وهيبرثين و أوجايت لكن المعادن المافية لا تزيد عموما في مجموعها عن ١٠%.

الريولايت: Rhyolite
• الفلسبار السائد في الريولايت هو الفلسبار البوتاسي وإن وجد البلاجيوكليز فلن تزيد نسبته عن نصف نسبة الفلسبار البوتاسي.
• توجد الفلسبارات على هيئة بلورات بورفيريه كما توجد في الأرضية.

• المعادن المافيه هي البيوتايت والهورنبلند وأحيانا يوجد بعض من الهيبرثين و الأوجيت.
• يحتوي الريولايت عموما على نسبة من الزجاج الصخري أكثر من الداسيت.
• تشيع في الريوليت كل خصائص الزجاج الصخري وخاصة التشققات المحاريه.
حيث يكون الريولايت banded rhyolite• من نوعيات الريولايت المشهوره ما يسمى الريولايت الشرائطي دقيق الحبيبات جدا ويتخذ مظهرا شرائطيا.

الصخور الجوفيه الفلسية:

• تكون الصخور الجوفيه الفلسية الجزء الأكبر من القارات وهي اكثر الصخور شيوعا في القشرة القارية.
• يطلق اسم الصخور الجرانيتية granitic rocks أو الجرانيتويدات granitoids على هذه الصخور ويعني هذا الاسم كل الصخور الجوفيه الخشنة او المتوسطة التحبب.

• يكون الكوارتز اكثر من ٢٠% من حجم هذه الصخور وتكون الفلسبارات بنوعيها الجزء الرئيسي منها.
• تقسم الصخور الجوفيه الفلسية إلى نوعيات مختلفة على اساس محتواها المعدني وعلى الأخص النسبة بين نوعي الفلسبار.
• النسيج الشائع في كل الصخور الجرانيتية هو النسيج الجرانيتويدي
• النسيج الجرانيتويدي هو نسيج ذو حبيبات خشنة أو متوسطة ناقصة الأوجه او عديمة الأوجه hypidiomorphic or alltriomorphic granular حيث توجد الحبيبات متراصة دون نظام معين.

تشيع بعض أنواع الأنسجة الخاصة في الصخور الجرانيتيه منها مثلا:

النسيج البورفيري:
• يحدث عندما يكون هناك فرق بين حجمين رئيسيين للبلورات في ا لصخر.
• ينقسم الرأي من حيث نشأة هذه البلورات البورفيريه هل كلها بلورات ناريه phenocrysts أو بعضها بلورات تحوليه porphyroblast
• غالبا ما تكون هذه البلورات الكبيرة جدا من الفلسبار البوتاسي.

النسيج الراباكيفي: Rapakivi Texture
هو نسيج بورفيري تحاط فيه بلورات الفلسبار البوتاسي بغلاف من البلاجيوكليز الصودي او الألبايت.

النسيج الهيروغليفي: Graphic Texture
• هو نمو مشترك بين الكوارتز والأورثوكليز او الميكروكلاين ويوجد في احجام مجهرية او كبيرة تظهر بوضوح في العينات اليدوية.
• يميز هذا النسيج بصفة خاصة الصخور التي تنشأ في المراحل النهائية في التداخلات المافيه الطباقية ويسمى الصخر الجرانيتي الذي يسود فيه هذا النسيج جرانوفير granophyre.

النسيج الميرمكيتي: Myrmekitic texture
• هو تلاحم بين الكوارتز البلاجيوكليز حيث يوجد الكواتز في اشكال دودية ممتده داخل حبيبات البلاجيوكليز خاصة عند التصاقها ببلورات الأوثوكليز او الميكروكلاين
• يعتقد ان غالبية هذا النسيج ينشا نتيجه التغيرات التي تحدث بعد التبلور

نوعيات الصخور الجرانيتية وتركيبها المعدني:

• تقسم الصخور الجرانيتية بصفة عامة إلى اربعة نوعيات اساسية بناء على تركيبها المعدني:
الجرانودايورايت Granodiorite
المونزوجرانيت Monzogranite (ادمالايت Adamelite)
السينوجرانيت Syenogranite (جرانيت Granite)
الجرانيت القلوي Alkali Granite

الجرانو دايورايت: Granodiorite
• الفلسبار الرئيسي في الجرانودايورايت هو البلاجيوكليز الصودي (أوليجيوكليز إلى انديزين) ولكنه كثيرا ما يكون متمنطقا وأحيانا يحاط بغلاف من الفلسبار البوتاسي.
• الفلسبار البوتاسي هو إما أورثوكليز أو ميكروكلين بيرثايت وينحصر وجوده في المساحات البينية بين بلورات البلاجيوكليز التي عادة ما تكون احجامها اكبر من احجام حبيبات الفلسبار البوتاسي .
• المعدن المافي الرئيسي والمميز في الجرانودايورايت هو الهورنبلند ويليه البيوتايت ولكن بكميات قليلة.
• المعادن الاضافية المميزة هي الابتايت والسفين وبعض المعادن المعتمه.
• يكون الجرانودايورايت حوالي ٢٢% من مجموع الصخور الجوفيه المكشوفه في الدرع العربي ومن أمثلته ما يوجد في جبل الهدا في منطقة الطائف.
• هناك تدرج تام بين الجرانودايورايت والدايورايت وقد تم تعريف صخر متوسط بين الإثنين هو التونالايت tonalite.الذي لا يحتوي تقريبا على الفلسبار البوتاسي.

• الترونجيمايت trondjemite هو شبيه بالتونالايت ولكنه يخلو تقريبا من المعادن المافيه ويصبح مكونا كليه من بلاجيوكليز (اوليجوكليز) وكوارتز.

المونزوجرانيت: Monzogranite

• يحتوي المونزوجرانيت على كل من البلاجيوكليز والفلسبار القلوي بنسبة متساوية تقريبا وفيما عدا ذلك فهو لا يختلف عن الجرانودايورايت.

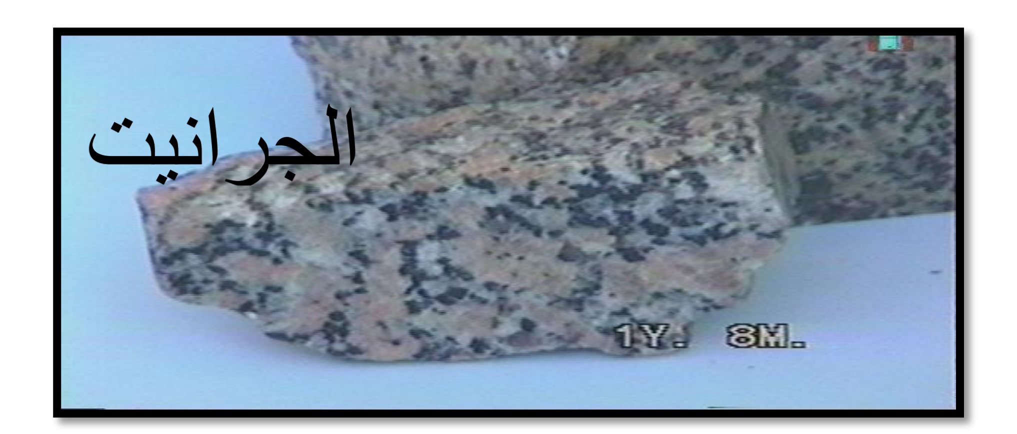
السينوجرانيت: Syenogranite

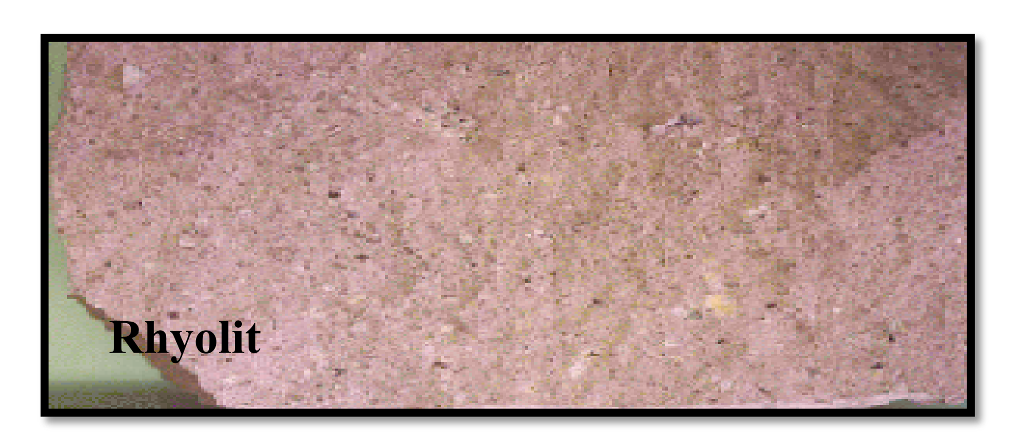
• هو اكثر الصخور الجرانيتيه شيوعا.
• تتراوح نسبة السيليكا من ٦٧-٧٤%.
• مؤشره اللوني ١٠ او اقل.
• لا تزيد نسبة البلاجيوكليز عن ثلث مجموع الفلسبارات.
• الفلسبار القلوي قد يكون هو الفلسبار الوحيد في السينوجرانيت وقد يكون بوتاسيا او صوديا ولكن الشائع هو خليط من الإثنين يسود فيه الفلسبار البوتاسي و يظهرعلى هيئة بيرثايت.
• البلاجيوكليز المميز في السينواجرانيت هو الأوليجوكليز.
• الكوارتز يوجد على شكل حبيبات عديمة الأوجه وتحتل الفرغات البينيه بين بلورات الفلسبار ويتميز باحتوائه على مكتنفات كثيرة على هيئه ابريه او على شكل ذرات ترابيه دقيقه جدا.

الصخور النارية الشائعة :

تكون معادن السيليكات معظم المعادن المكونة للصخور النارية، ويرجع السبب في ذلك إلي أن الصهير يحتوي على نسبة عالية من عنصر السيليكون والأكسيجين وهما يكونان أكثر من ٧٠% من عناصر الصهير. كما أن عديداً من معادن السيليكات وقليلاً من معادن الأكاسيد تنصهر عند درجات الحرارة والضغوط المميزة للأجزاء السفلية من القشرة الأرضية والوشاح. وتشمل معادن السيليكات الشائعة المتداخلة في الصخور النارية الكوارتز والفلسبار والميكا والبيروكسين والأمفيبول والأوليفين، وهى تتبلور على هيئة بنيات بلورية مختلفة. وهذا العدد المحدود من معادن السيليكات هو المسئول عن تكوين ما يزيد على٩٠% من الصخور النارية.

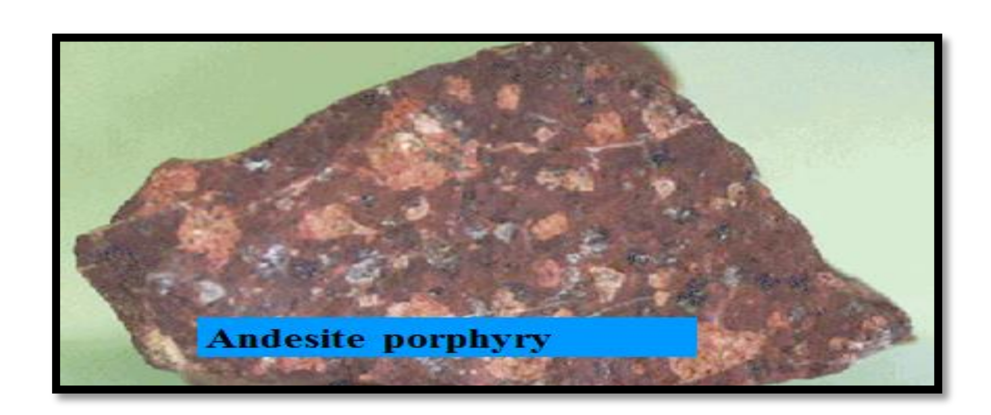



الجرانيت
1Y. 8M.

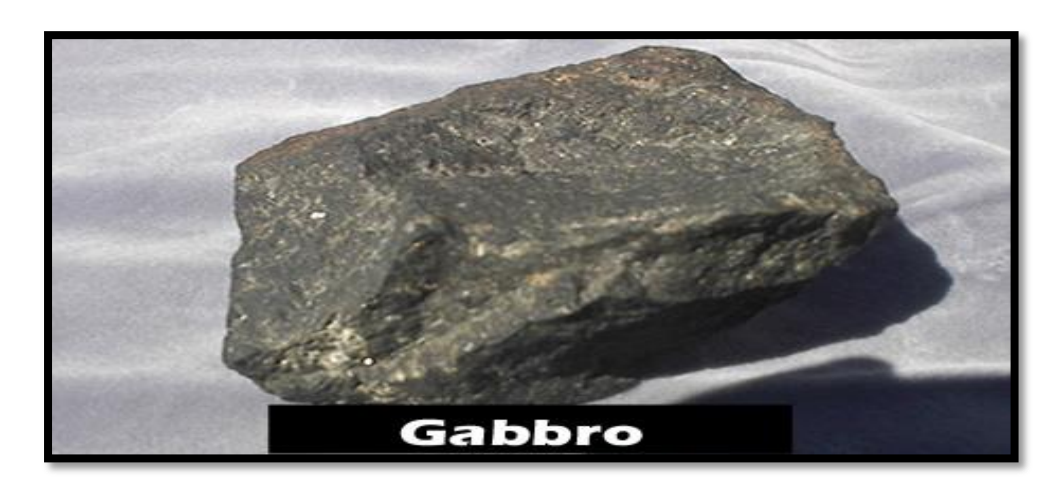

Rhyolit

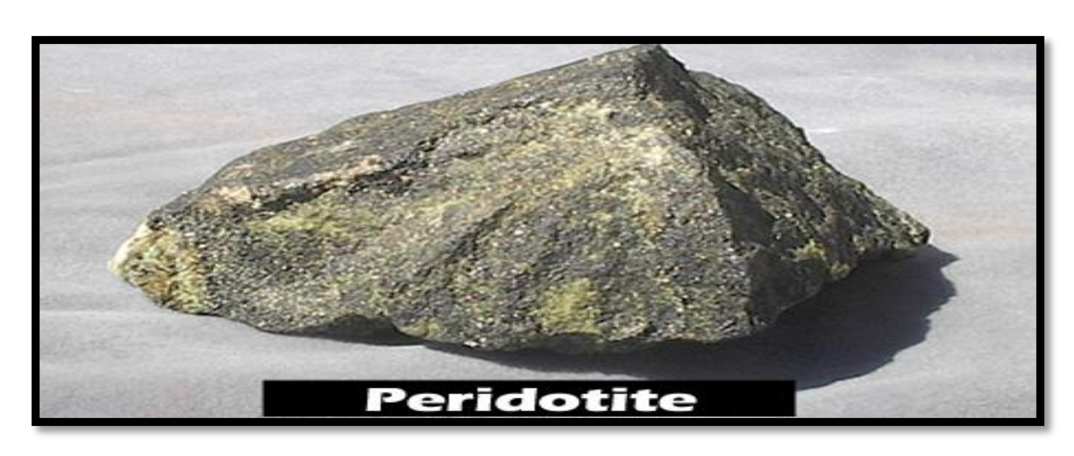

Diorite


التراكيت


Andesite porphyry


Basalt


Gabbro


Peridotite

٢ – الصخور الرسوبية :

توجد الرواسب (مستمدة من sedimentum وتعني باللاتينية استقرار أو ترسب) على سطح الأرض على هيئة طبقات، تتكون من حبيبات مفككة مثل: الرمل أو الغرين أو أصداف الكائنات الحية أو غيرها، والتي تتكون منها الصخور الرسوبية بعد تصخرها. وتتكون هذه الحبيبات عند سطح الأرض نتيجة لتجوية أنواع الصخور المختلفة النارية أو الرسوبية أو المتحولة. بمعنى أن عمليات التجوية تؤدي إلي تفتت الصخور إلي كسرات مختلفة الأحجام، بالإضافة إلي مواد ذائبة في الماء. وتنتقل أجزاء الصخر المتكسر والمواد المذابة، والناشئة عن عملية التجوية، بعوامل التعرية المختلفة (وهى مجموع العمليات التي تتفكك بها التربة والصخور وتحركها إلي أسفل التلال والمنحدرات أو إلي مجاري المياه) حيث ترسب على هيئة طبقات من الرواسب .

وتؤدي عمليتا التجوية والتعرية إلي تكون نوعين من الرواسب، هما:

أ – الرواسب الفتاتية :

تتكون الرواسب الفتاتية (اشتقت كلمة فتاتية clastic من الكلمة اليونانية klastos بمعنى مكسر أو مفتت) من قطع صخرية متكسرة وحبيبات مفككة ومترسبة بفعل عوامل طبيعية مثل: المياه الجارية أو الرياح أو الجليد، حيث تعمل هذه العوامل على تقليل حجم القطع الصخرية وترسيبها في مناطق جديدة. فالمياه الجارية تنقل الرواسب إلي البحيرات أو البحار والمحيطات لتترسب فيها، كما يمكن للرياح أن تنقل كميات ضخمة من الرمال وغيرها من الرواسب الأدق حجما لأماكن بعيدة حيث تترسب. أما المثالج فإنها تنقل وترسب كميات كبيرة من المواد الصخرية مختلفة الأحجام. ويعكس التركيب المعدني للرواسب طبيعة المواد الأصلية التي نتجت عنها هذه الرواسب. كما تدل الاختلافات بين الطبقات المتتالية على التغيرات التي حدثت عبر الزمن الجيولوجي.

ب – الرواسب الكيميائية والكيميائية الحيوية :

الرواسب الكيميائية والكيميائية الحيوية هى مواد كيميائية تشمل أيونات: الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والكلوريد والفلوريد والكبريتات والفوسفات، تكونت إما بالترسيب من الوسط الذي ذابت فيه مكونات الصخور أثناء التجوية ونقلها إلي مياه الأنهار أو البحار، أو استخرجتها كائنات حية من المحاليل التي ذابت فيها. فالكالسيت قد يرسب من المياه الدافئة، حيث يترسب ليكون الحجر الجيري، كما تزيل الشعاب المرجانية والرخويات والطحالب كربونات الكالسيوم من محاليلها. كما يترسب الهاليت (كلوريد الصوديوم) وغيره من الأملاح سريعة الذوبان من المسطحات المائية المغلقة بالتبخر.

ج – التصخر :

التصخر هو تحول الراسب غير المتماسك إلي صخر صلد. وتحدث هذه العملية بطريقة من طريقتين هما: • الكبس (الاندماج) حيث ينقص حجم الرواسب ومساميتها تحت تأثير وزن ما يعلوها من رواسب ليعطي كتلة أكبر كثافة من الكتلة الأصلية. • التلاحم (السمنتة) حيث تترسب المعادن حول الحبيبات المترسبة وتلحمها مع بعضهم البعض.

وتتم عملية الكبس والالتحام بعد الدفن تحت تأثير الطبقات المضافة من الرواسب. وهكذا يتكون الحجر الرملي نتيجة تصخر حبيبات الرمل، والحجر الجيري نتيجة التحام أصداف الحيوانات وحبيبات كربونات الكالسيوم.

وتتميز الرواسب والصخور الرسوبية بخاصية التطبق، أي تكون طبقات متوازية نتيجة هبوط الجزيئات إلي قاع البحر أو النهر أو سطح الأرض. وقد يعكس التطبق تغيراً في التركيب المعدني مثلما يتطابق حجر رملي مع حجر جيري، أو تغيراً في النسيج كما يتطابق حجر رملي خشن التحبب مع آخر دقيق التحبب.

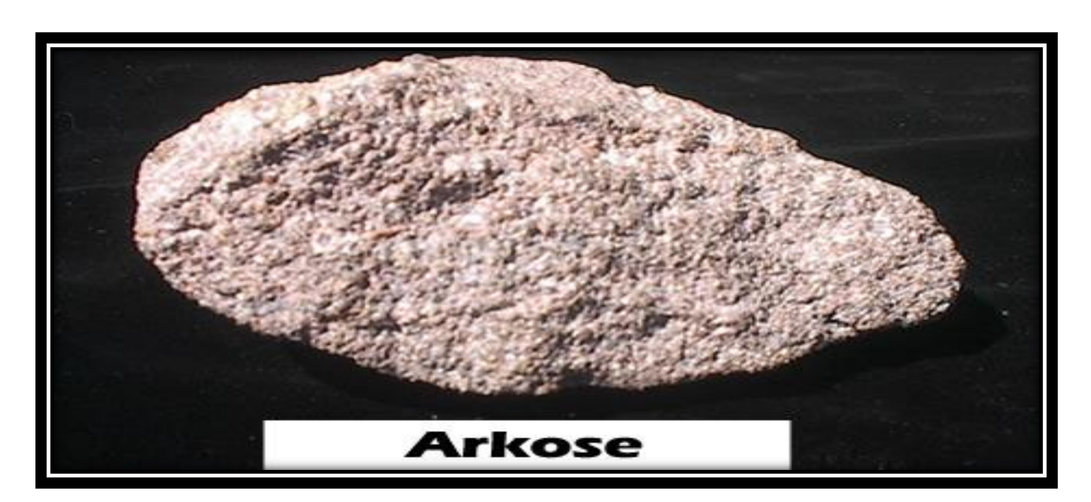
وتقدم لنا الصخور الرسوبية معومات وفيرة عن تاريخ الأرض خلال النصف بليون سنة الأخيرة من عمرها، بسبب ما تحتويه من حفريات، والتي تمثل بقايا الحياة القديمة النباتية والحيوانية المحفوظة في ثنايا الصخور.

وتمثل الطريقة التي تتكسر بها الحبيبات وطريقة ترسيبها وعلاقة الطبقات ببعضها ولون وتركيب الطبقات وآثار سقوط الأمطار بعض الشواهد التي توجد في الصخور الرسوبية، وتستخدم في استنتاج تتابع الأحداث والمناخات القديمة.

وتغطي الصخور الرسوبية معظم سطح الأرض اليابس، وكذلك قيعان البحار والمحيطات. وعلى الرغم من أن معظم الصخور الموجودة فوق سطح الأرض هى صخور رسوبية، إلا أنها تكون طبقة رقيقة فوق الصخور النارية والمتحولة، والتي تمثل الحجم الرئيسي للقشرة الأرضية .

د – الصخور الرسوبية الشائعة :

معادن السيليكات أكثر المعادن شيوعا في الصخور الرسوبية الفتاتية، وتشمل معادن الكوارتز والفلسبار والطين. أما أكثر المعادن شيوعا في الرواسب الكيميائية الحيوية فهى معادن الكربونات (مثل: الكالسيت والدولوميت) والجبس والهاليت. والكالسيت هو المكون الرئيسي للحجر الجيري. أما الدولوميت فيتواجد في صخور الحجر الجيري أيضا، ويتكون من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم. ويتكون معدنا الجبس والهاليت نتيجة تبخر ماء البحر.






Breccia




Chalk


Chert


Coquina


Flint

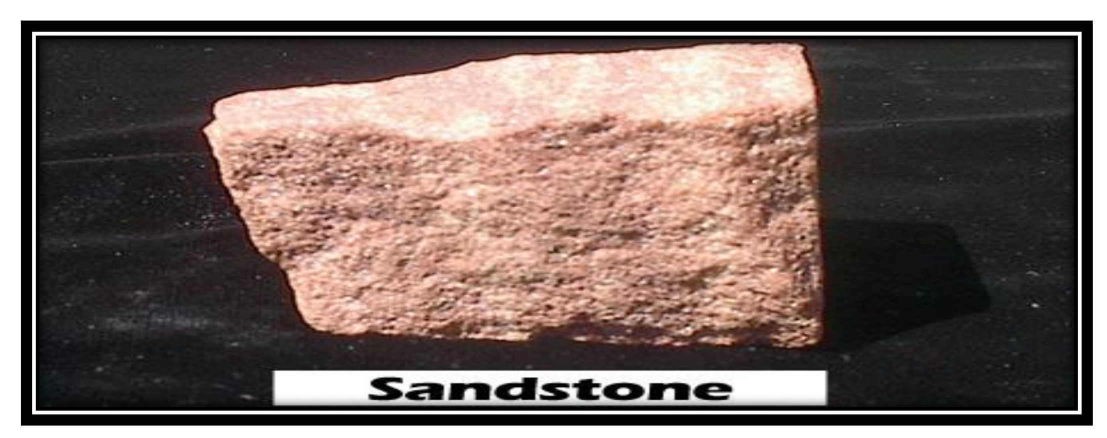

Graywacke


Limestone - Crystalline


Limestone - Crystalline


Mudstone


Rocksalt


Sandstone


Shale

٣ – الصخور المتحولة :

اشتق اسم الصخور المتحولة من كلمتين يونانيتين meta بمعنى تغير وmorph بمعنى شكل، وهكذا فإن المصطلح يعني تغير الشكل. وتتكون الصخور المتحولة عندما تسبب درجات الحرارة العالية والضغوط المرتفعة في أعماق الأرض في تغير التركيب المعدني أو النسيج أو التركيب الكيميائي لأي نوع من صخور سابقة (نارية أو رسوبية أو متحولة)، حيث يساعد وجود الماء أو المحاليل المائية على إتمام عملية التحول. ويحدث التحول عادة في الحالة الصلبة. وتكون درجات الحرارة عموما تحت نقاط انصهار الصخور (نحو ٩٠٠م) ، ولكنها تكون عالية بدرجة كافية (فوق ٢٥٠م) لكي تسبب تحول الصخور عن طريق إعادة التبلور أو التفاعلات الكيميائية. ونعرض فيما يلي وصفا لأنواع التحول المختلفة:

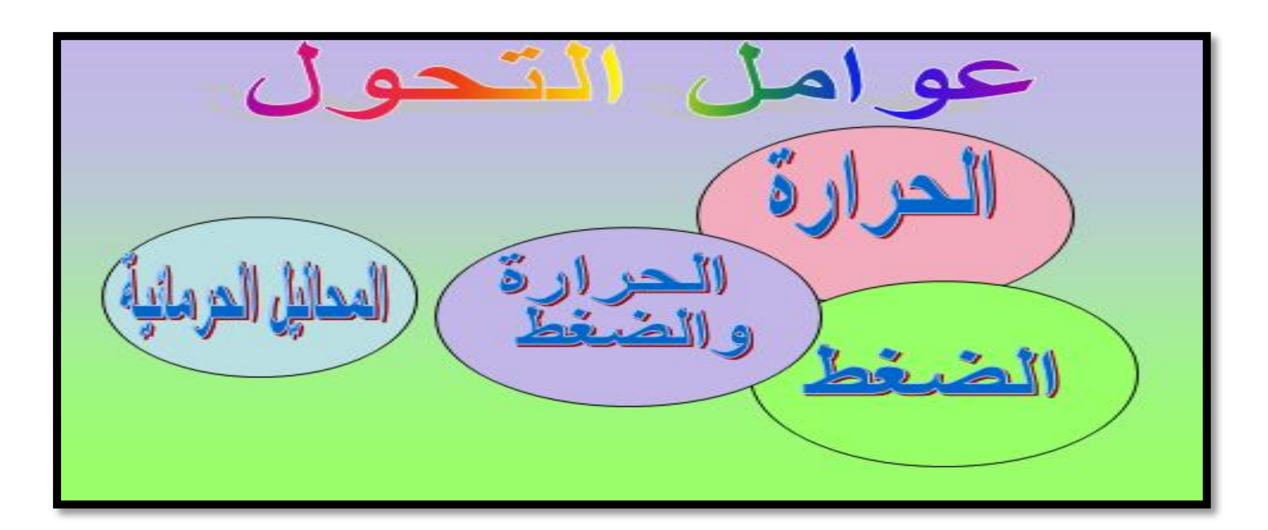
أ – التحول الإقليمي والتحول التماسي (الحراري):

قد يحدث التحول في منطقة محدودة من الأرض، كما يحدث على نطاق واسع. فعندما يمتد تأثير الحرارة والضغط العاليين على مسافات واسعة من القشرة الأرضية تصل إلي عشرات الآلاف من الكيلومترات المربعة، فإن الصخور تتعرض للتحول الإقليمي. وهو نوع من التحول يصاحب عمليات اصطدام الألواح التي تسبب بناء الجبال، وطي وكسر طبقات الصخور الرسوبية، والتي كانت يوما ما أفقية. كما أن هناك نوعا آخر من التحول يحدث إذا كانت درجات الحرارة محدودة وتؤثر في مساحات أصغر من الأرض يعرف بالتحول التماسي. ويحدث التحول التماسي نتيجة لتأثير درجات الحرارة الناتجة عن تداخل جسم ناري في الصخور المحيطة، ولذلك يسمى أيضا بالتحول الحراري .

وتتميز العديد من الصخور المتحولة تحولا إقليميا بوجود ظاهرة التورق وهى أسطح مستوية أو متموجة تنشأ عندما تؤثر قوة تضاعف قوية من اتجاه محدد على صخر يعاد تبلوره ، وهو يؤدي إلي أن تنمو بلورات معادن مثل: الميكا والتورمالين والهورنبلند، بحيث تكون أسطحها المستوية أو محاورها الطويلة في اتجاه عمودي على اتجاه تأثير هذه القوة. وينتج عن هذا تكون صخر متورق، حيث تتلون الراقات بألوان المعادن التي تكونها. فالإردواز صخر متورق دقيق التحبب، والفلليت صخر متورق خشن التحبب، بينما يكون الشست أكثر خشونة، ويكون النايس هو الأخشن على الإطلاق. أما الأنسجة الحبيبية والتي تحتوي على بلورات متساوية الأبعاد، فهى تتكون في الصخور التي تتعرض لضغوط متساوية من كل الاتجاهات، أو لا يوجد بها معادن لها سلوك نمو في اتجاه محدد، وبالتالي لا يوجد بها تورق . وتكون الأنسجة الحبيبية أكثر شيوعا في الصخور المتحولة بالتلامس مثل الرخام. وقد تظهر الأنسجة الحبيبية في القليل من الصخور المتحولة تحولا إقليميا عند درجة حرارة وضغط عاليين للغاية.

مفهوم التحول

- يعرف التحول بأنة التغير الذي يطرأ علي صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) نتيجة تغير الظروف الطبيعية المحيطة بالصخر من درجة حرارة أو ضغط أو كليهما معا ويساعد وجود الماء أو المحاليل المائية بصفة عامة علي أتمام عملية التحول .



أنواع التحول

١- التحول الحراري أو التماسي Contactor Thermal Metamorphism

يحدث هذا النوع من التحول في الصخور التي تتداخل فيها مادة الصهير . وعادة ما تكون مادة الصهير مصحوبة بأبخرة ومحاليل شديدة الحرارة . ويكون التأثير الحراري لهذة المواد المتداخلة علي أشدة في المناطق المجاورة لها ويقل تدريجيا بعيدا عن منطقة تماس المادة المصهورة مع الصخر الأصلي والتي قد يتراوح اتساعها بين عدة أمتار ومئات الأمتار .

- يتوقف هذا التأثير الحراري علي العوامل التالية :

كتلة مادة الصهير | درجة حرارتها | نوع الصخور المحيطة

فإذا كانت المادة المصهورة علي شكل سدود صغيرة فإن التحول الناشيء عنها يكون طفيفا أما السدود الكبيرة وكتل اللاكوليت فإنها تؤدي إلي تحول قوي واضح يمتد أثره إلي مسافات بعيدة في الصخور المحيطة بها .
ونتيجة لتأثير الحرارة وبمساعدة السوائل الموجودة في الصخور أحيانا فإن البلورات الصغيرة الموجودة في الصخر الأصلي قبل التحول تكون بلورات كبيرة متساوية ومتراصة بإحكام مكونة نسيجا يعرف بالنسيج الحبيبي وكلما زادت درجة التحول زاد حجم بلوراتة وتعرف هذة العملية باسم إعادة التبلر **Recrystallization**


أهم الصخور المتحولة بالحرارة
الهورنفلس
Hornfels
Marble
الرخام
الكوارتزيت
Quartzite
صخر ناتج عن
التحول الحراري للصخور الطينية
يتميز بنسيج حبيبي دقيق الحبيبات
صخر ناتج عن
التحول الحراري للحجر الجيري
هو صخر متبلر وتسيجة حبيبي
يتكون من حبيبات الكالسيت
صلادة الرخام منخفضة ولونه
أبيض اذا كان نقيا ولكنه قد يبدو
في ألوان مختلفة (الرصاصي
الأحمر – الأسود) لاحتوائه
علي شوائب مختلفة .
صخر ناتج عن
التحول الحراري لمعدن الكوارتز
في الصخور الرملية .
شديد الصلادة ولونه أبيض
مصفر اذا كان نقيا وتسيجه
حبيبي وحبيباته متوسطة الحجم
ومتراصة باحكام .


Hornfels

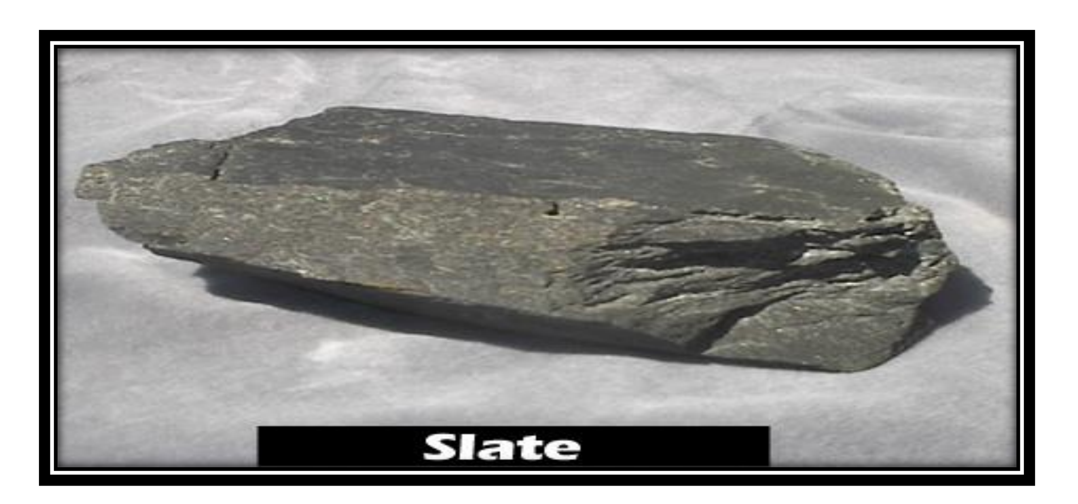

Marble



٢- التحول بفعل الضغط والحرارة (التحول الأقليمي) Regional Metamorphism :

- ينشأ هذا التحول نتيجة تغير صخور سابقة التكوين في مناطق شاسعة تحت تأثير الضغط العالي المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من حركات القشرة الأرضية البانية للجبال والقارات.
- يكون ترتيب المعادن المكونة للصخر في نظام يناسب الظروف الجديدة وقد يكون التحول من الشدة والعنف بدرجة تؤدي إلي زوال معالم الصخر الأصلي تماما فقد تتفتت أو تتكسر بعض المكونات المعدنية.
- وأحيانا قد يعاد تبلرها من جديد ويكون تبلرها الجديد بحيث تشغل البلورات أقل حيز ممكن بتأثير الضغط الواقع عليها وينتج عن هذا الترتيب تجمع المعادن للصخر علي هيئة طبقات رقيقة أو شرائط أو علي شكل ورقات أو رقائق متوازية ومتعامدة مع اتجاه الضغط حيث تظهر بلورات المعدن الواحد مرتبة في صفوف أو صفائح متوازية متصلة أو متقطعة ومتبادلة مع صفائح بلورات المعادن الأخري ويعرف هذا النسيج بالتورق Foliation









معادن السيليكات هى أكثر المعادن شيوعا في الصخور المتحولة، حيث تكونت هذه الصخور أصلا من تحول صخور أخرى كانت غنية بالسيليكات. والمعادن المميزة في الصخور المتحولة هى: الكوارتز والفلسبارات والميكا والبيروكسين والأمفيبول، وهى المعادن المميزة نفسهاللصخور النارية. ولكن هناك معادن سيليكات أخرى مميزة للصخور المتحولة فقط، وهى معادن الكيانيت والاشتوروليت وبعض أنواع الجارنت. وتتكون هذه المعادن في القشرة الأرضية تحت ضغط وحرارة عاليين. وهذه المعادن لا توجد في الصخور النارية، ولذلك فإن وجودها دليل جيد على حدوث عملية التحول. كما يعتبر الكالسيت من المعدن الشائعة في الصخور المتحولة، وهو المعدن الرئيسي في الرخام وهو صخر متحول عن الحجر الجيري.

وصف بعض الصخورا لمتحولة:

أولاُ :الصخور الصفائحية(المتورقة) : Foliated Rocks

١- الأردواز Slate:



الأصل:

صخرة متحولة ناتجة من تحول الصخور الروسوبية الفتاتية ذات الحبيبات الناعمة جداً مثل الطين(Clay) أو الطفل(Shale).

التحول:

تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المنخفضة .

التكوين المعدني:

تتكون من الميكا البيضاء(السريسيتSericite)، الكلوريت(Chlorite) والكوارتز(Quartz) بالاضافة إلي التورمالين(Tourmaline)، ألابيدوت(Epidote) وخامات الحديد(ore Iron).

البنيات والأنسجة:

صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمة جداُ ومتجانسة، وتتميز بالتشقق الكامل المعروف بالانفصام الأردوازي(Slate cleavage) حيث تتشقق إلي صفائح رقيقة بسبب النمو المتوازي لمعادن الميكا والكلوريت.

* يأخذ الأردواز ألوان تتراوح من الرمادي، الأسود إلي الأخضر.

٢- الفليت Phyllite :



الأصل:

صخرة متحولة ناتجة من تحول الصخور الروسوبية الفتاتية ذات الحبيبات الناعمة جداً مثل الطين(clay) أو الطفل(shale).

التحول:

تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة(أكثر تقدماً من تحول الأردواز) تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المنخفضة .

التكوين المعدني:

تتكون من الميكا البيضاء(السريسيت)، الكلوريت(chlorite) والكوارتز(quartz) بالاضافة إلي التورمالين(tourmaline، ألابيدوت(epidote) وخامات الحديد(iron ore) ألا أن حبيبات الفليت أكبرحجماً من مثيلاتها في الأردواز وتزيد نسبة الميكا البيضاء(السريسيت) علي الكلوريت.

البنيات والأنسجة:

صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمةُ ومتجانسة ألا أن حبيبات الفليت أكبرحجما(أكثر خشونةُ) من مثيلاتها في الأردواز، وتتميز بالتشقق الكامل حيث تتشقق إلي صفائح رقيقة بسبب النمو المتوازي لمعادن الميكا والكلوريت علي شكل رقائق مستطيلة. قد يتواجد البنية الشستوزية في الفليت.

* يأخذ الفليت ألوان تتراوح من الرمادي إلي الأسود ويتميز ببريقه الامع.

٣- االشست Schist:



الأصل:

صخرة متحولة ناتجة من تحول صخور مختلفة(الروسوبية الفتاتية، الطين(Clay)، الطفل(Shale) أو النارية القاعدية).

التحول:

تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة أو متوسطة تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المتوسطة(أكثر تقدماً من تحول الفليت).

التكوين المعدني:

تتميز صخورالشست بالتنوع الكبير في مكوناتها المعدنية تبعاً لتنوع التركيب المعدني للصخور الأصلية. أهم المعادن فيها هي الميكا mica))، الكلوريت(Chlorite)، الأكتينوليت(Actinolite)، الألبايت(Albite)، الكوارتز(Quartz)، التلك(Talc) والهورنبلند(Hornblende) بالاضافة إلي الجرافيت(graphite)، ألابيدوت(Epidote) وخامات الحديد(Iron ore).

البنيات والأنسجة:

صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمة أو متوسطة، وهي من أكثرالصخور التي تحتوي علي البنية الشستوزية والتي تتكون من رقائق بلورية من المعادن الميكا mica)) والكلوريت(Chlorite وبعض المعادن المنشورية مثل الهورنبلند(Hornblende) حيث تترتب في صفوف رقيقة متوازية تكسب الصخر شكلا صفائحيا.

٤- االنايس Gneiss:



الأصل:

صخرة متحولة ناتجة من تحول صخور مختلفة، فيمكن أن تنتج من الصخور الروسوبية (Para gneiss أوالنارية Ortho gneiss).

التحول:

تحول إقليمي(ضغطي- حراري) ذو مرتبة عالية ((Regional high-grade تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المرتفة.

التكوين المعدنى:

تتميز صخورالنايس بالتنوع الكبير في مكوناتها المعدنية تبعاً لتنوع التركيب المعدني للصخور الأصلية. النايس ذات الأصل الناري تتكون من طبقات من االفلسبار(feldspar) والكوارتز(Quartz) متبادلة مع اخري من البيوتايت(biotite) والهورنبلند(Hornblende)، وتلك التي تأتي من أصل رسوبي تتكون من أشرطة من المعادن االفلسبار(feldspar) والكوارتز(Quartz) تتبادل مع معادن صفائحية مثل الميكا (mica)، الكلوريت(Chlorite) والجرافيت(graphite).

البنيات والأنسجة:

صخرة متحولة ذات حبيبات خشنة، وهي من أكثرالصخور التي تحتوي علي البنية النايسوزية والتي تتكون من رقائق او أشرطة من المعادن الداكنة اللون}مثل الميكا mica)) الهورنبلند(Hornblende){ والأخري الفاتحة اللون(مثل االفلسبار والكوارتز) حيث تترتب في صفوف رقيقة متبادلة. قد يتواجد الكوارترعلي شكل عدسات.
* يميل لون النايس في كثيرمن الأحيان إلي الرمادي المبيض، وهنالك عدة أنواع من النايس منها النايس الجرانيتي (granitic gneiss) والنايس الديوريتي(dioritic gneiss).

ثانياً :الصخور غيرالصفائحية(غيرالمتورقة)Non-foliated Rocks

١ -الهورنفلس Hornefles:



الأصل:

تتكون صخورالهورنفلس نتيجة تحول مختلف انواع الصخور الروسوبية بالاضافة لبعض الصخور النارية، لذا يمكن ان تكون نتاج لصخورالطينية(pelitic)، الطينية- الرملية(psammetic)، نارية(igneous)، الجيرية(calcareous) أو القاعدية(basic).

التحول:

تتكون بفعل التحول الحراري التماسي لذا يكثر وجودها علي حدود الصخور الجوفية.

التكوين المعدني:

تختلف المعادن في الهورنفلس تبعاً لاختلاف التركيب المعدني للصخور الأصلية، اهم المعادن فيه هي الكوارتز(Quartz)، الفلسبار، الميكا، الكوردريت(cordierite)، ألأندالوسايت(Andalusite، السيليمانيت(Silimanite) ألديوبسايت(Diopsite) والكورندوم(corundum) .

البنيات والأنسجة:

يتميز الهورنفلس بأنه صخرة متماسكة ذات حبيبات ناعمة جداُ ويسود فيه البنية الحبيبية والنسيجا ال Porphyroblastic.

* يميل لون الهورنفلس في كثيرمن الأحيان إلي الرمادي

٢-الكوارتزيت Quartzite:



الأصل:

تتكون صخورالكوارتزيت نتيجة تحول الحجر الرملي(Sandstones).

التحول:

تتكون بفعل التحول الحراري التماسي أو الاقليمي.

التكوين المعدني:

يتكون أساساً من بلورات معدن الكوارتز بالاضافة إلي نسبة قليلة من الفلسبار، وقد يتواجد الميكا.

البنيات والأنسجة:

يتميز الكوارتزيت بأنه صخرة متماسكة تتكون من بلورات متوسطة أو ناعمةُ ويسود فيه البنية الحبيبية والنسيج الموزيكي (Mosaic).

* يتميز الكوارتزيت بلونه الأبيض وقد يكتسب اللون الأحمر، الوردي، الرمادي أو البنفسجي إذا احتوي علي شوائب

٣-الرخام (المرمر) Marble:



الأصل:

تتكون صخورالرخام نتيجة تحول الصخور الكلسية(الحجر الجيري والدولومايت).

التحول:

تتكون بفعل التحول الحراري التماسي أو الاقليمي.

التكوين المعدني:

يتكون أساساً من بلورات معدن الكالسايت بالاضافة إلي نسبة قليلة من الكوارتز،إذا كانت الصخور الأصلية تحتوي علي كربونات الماغنيسيوم(الدولومايت) فقد يساعد علي تكوين معادن الديوبسايت(diopsite)،التريمولايت(terimolite)، والسربنتين(serpentine) الجارنت(garnet).

البنيات والأنسجة:

يتميز الرخام بأنه صخرة متماسكة تتكون حبيبات متوسطة إلي خشنة متساوية الأبعاد تقريباً ومتراصة بشكل منتظم مما يكسب الصخر البنية الحبيبية والنسيج الموزيكي (Mosaic).

* الرخام النقي أبيض اللون وقد يميل لونه إلي الأحمر، الوردي، الرمادي، الأصفر، الأخضر أو الأسود علي حسب الشوائب الموجودة فيه. يتميز الرخام بلمعانه السكري المميز(Sugary luster).

– تواجد الأنواع المختلفة للصخور :

لا تتواجد الصخور في الطبيعة كأجسام منفصلة عن بعضها البعض، بمعنى أن يكون هناك صخر ناري هنا ورسوبي هناك وصخور متحولة في مكان آخر. بل على العكس من ذلك تتواجد الصخور المختلفة في منطقة ما مختلطة مع بعضها بغير نظام، وفي تسلسل زمني يعكس تاريخها الجيولوجي.

ويقوم الجيولوجي بعمل خريطة تبين توزيع الصخور الموجودة في منطقة ما على السطح، ثم يحاول فهم تاريخها الجيولوجي من دراسة التنوع الحالي للصخور بها، وعلاقة هذه الصخور بعضها ببعض وتوزيعها.

وتمثل منكشفات الصخور وهى الأماكن التي يمكن فيها رؤية صخر الأساس الصلب وما يعلوه من تربة ومواد مفككة على السطح تعرف بالحطام الصخري (الأديم)، المصدر الرئيسي للمعلومات عن صخور القشرة الأرضية وتوزيعها، إلا أن آلاف الآبار التي تم حفرها على القارات أثناء البحث عن البترول والماء والمعادن ذات القيمة الاقتصادية، قد أمدتنا بمعلومات وفيرة عن هذه الآبار أجزاء ضحلة من القشرة الأرضية، والتي تتكون في معظمها من الصخور الرسوبية. ومع مواصلة الحفر لأعماق أكبر ربما تتراوح بين ٦ و١٠كم فإن الآبار ستخترق صخورا نارية ومتحولة. ومن أجل الحصول على نتائج أكثر عن الأجزاء العميقة من القشرة الأرضية قامت العديد من الدول بما فيها الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا وروسيا بحفر آبار إلي أعماق كبيرة على القارات. ويصل عمق أكبر بئر في روسيا إلي أكثر من ١٢ كيلومترا، وهو عمق يفوق أي عمق بئر تجارية تم حفرها.

– دورة الصخور:

تعرف دورة الصخور بأنها مجموعة العمليات الجيولوجية التي يتكون بها أي من الأنواع الثلاثة للصخور وعلاقتها ببعضها البعض، بالإضافة إلي معرفة نشأة تلك الأنواع المختلفة من الصخور. وقد وصف الأسكتلندي جيمس هاتون هذه الدورة عام ١٧٨٥م لأول مرة بصورة كاملة، والتي تعرف بعض عناصرها علماء آخرون في انجلترا وأوروبا.

وسنقدم هنا وصفا لدورة واحدة، آخذين في الاعتبار أن مثل تلك الدورات تتغير زمانا ومكانا. فإذا بدأنا بالصهارة الموجودة في أعماق الأرض حيث تكون الحرارة والضغط مرتفعين لدرجة تكفي لصهر أي نوع من الصخور الموجودة سابقا، سواء كانت نارية أو متحولة أو رسوبية . وقد سمى جيمس هاتون هذا النشاط في أعماق القشرة الأرضية باسم حدث بلوتوني نسبة إلي بلوتو الإله الروماني لعالم ما تحت الأرض. والآن فإننا نسمي كل الصخور النارية المتداخلة بالصخور البوتونية (السحيقة). وعندما تنصهر الصخور السابقة فإن محتوياتها من المعادن قد تنصهر كليا أو جزئيا، وتصبح كل عناصرها الكيميائية متجانسة في المحاليل الساخنة المتكونة منها، وتكون ما يعرف بالصهارة. وعندما تبرد الصهارة تبدأ بلونات معادن جديدة في النمو

لتكون صخورا نارية جديدة، وتعرف هذه العملية بالتبلور. وقد يحدث التبلور تحت سطح الأرض، كما سبق أن ذكرنا، ليكون الصخور النارية المتداخلة، أو بعد انبثاق بركان فوق سطح الأرض ليكون الصخور البركانية. وتتكون الصخور النارية أساسا على حدود الألواح التكتونية المتباعدة والمتقاربة. كما تتكون الصخور النارية أيضا نتيجة بلومات الوشاح (البلوم تيار صاعد يحمل الحرارة والمعادن المنصهرة جزئيا من الأجزاء السفلى من الوشاح إلي الأجزاء العليا). ويغزو البعض النشاط البركاني داخل الألواح بعيدا عن حوافها إلي هذه البلومات.

وتصعد الصخور النارية المتكونة عند حواف الألواح المتصادمة، مع الصخور الرسوبية والمتحولة المصاحبة لتكون سلسلة من الجبال العالية، حيث يصبح جزءاً من القشرة الأرضية مشوها ومنضغطا. ويطلق الجيولوجيون على هذه العملية والتي تبدأ باصطدام الألواح وتنتهي ببناء الجبال بالتجبل (نشأة الجبال). وتتعرض هذه الصخور المرفوعة لعملية التجوية والتغير الكيميائي، بسبب انتقالها إلي وسط أكثر برودة ورطوبة عن باطن الأرض الساخن الذي نشأت به. فمثلا تتكون أكاسيد الحديد من معادن الحديد، وتتغير بعض المعادن المتكونة في درجات حرارة عالية مثل الفلسبارات إلي معادن الطين، كما تذاب بعض المواد مثل معادن البيروكسين تماما حين تتساقط عليها الأمطار. كما تؤدي تجوية الصخور النارية أيضا إلي تكوين أحجام وأنواع مختلفة من الحطام الصخري

والمواد الذائبة والتي تحمل بعيدا بعوامل التعرية. بينما يتم نقل البعض الآخر بالمثالج أو بمياه المجاري الذائبة والرياح إلي الأنهار ثم إلي المحيطات، حيث تترسب كطبقات من الرمل والغرين، أو كرسوبيات أخرى تكونت من المواد الذائبة في مياه البحار مثل معادن كربونات الكالسيوم.

ويتم دفن هذه الرواسب التي تراكمت في البحار، وأيضا تلك المترسبة بالمياه أو الرياح على اليابسة، تحت طبقات متتابعة من الرسوبيات حيث تتصخر تدريجيا لتتحول إلي صخر رسوبي. ويصاحب عملية دفن الصخور عملية هبوط، وهى انخفاض أو غوص لجزء من القشرة الأرضية. وباستمرار عملية الهبوط تضاف طبقات أخرى من الرسوبيات، وتتحول الرواسب في النهاية إلي صخور رسوبية.

ويؤدي دفن الصخور الرسوبية المتصلدة في أعماق القشرة الأرضية إلي رفع درجة حرارتها. وعندما يزيد عمق الدفن عن ١٠كم ترتفع درجة الحرارة إلي أكثر من ٣٠٠م وتبدأ المعادن التي مازالت في الحالة الصلبة في التحول إلي معادن أكثر استقرارا عند درجات الحرارة والضغوط العالية، وتتحول بالتالي الصخور الرسوبية السابقة إلي صخور متحولة جديدة. ومع زيادة التسخين قد تنصهر الصخور وتتكون صهارة جديدة، حيث تتبلور منها صخور نارية بادئة الدورة من جديد.

وعادة لا تكمل هذه الدورة بالتسلسل الذي سبق وصفه. حيث يمكن أن يرفع خلال عملية الجبل أي نوع من الصخور متحولا أو رسوبيا أو ناريا لتتم تجويته وتعريته ليكون رواسب جديدة. كما يمكن تجاوز بعض المراحل، حيث يمكن أن ترفع الصخور الرسوبية ليتم تعريتها دون أن تتعرض للتحول أو الانصهار. كما يمكن أن تحدث الدورة بترتيب مختلف عن ذلك الذي سبق عرضه، مثل تعرض الصخر الناري المتكون في باطن الأرض للتحول، قبل أن يرفع. فقد لوحظ أثناء حفر الآبار العميقة، أن بعض الصخور النارية الموجودة على بعد عدة كيلومترات داخل القشرة الأرضية لم ترفع أبدا، وبالتالي لم تتعرض للتجوية والتعرية.

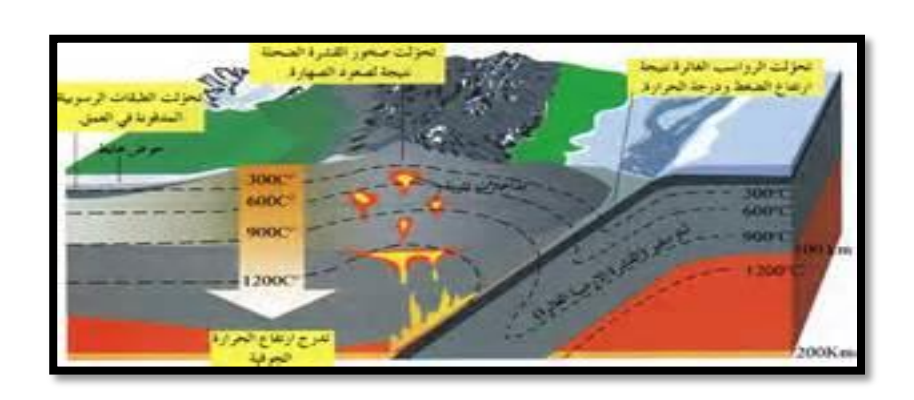
ومما تجدر الإشارة إليه أن دورة الصخور لاتنتهي أبدا، فهى تحدث دائما في مراحل مختلفة وفي أماكن مختلفة من العالم، حيث تتكون الجبال ويتم تعريتها في مكان ما، وتتراكم وتدفن الرواسب الناتجة في مكان آخر. وعموما فإن الصخور التي تكون الجزء الصلب من الأرض تتعرض للمراحل المختلفة من الدورة باستمرار، حيث نشاهد فقط بعض مراحل هذه الدورة على سطح الأرض، ولكننا نتوقع حدوث المراحل الأخرى في أعماق القشرة الأرضية والوشاح، بناءً على ما نشاهده من الأدلة غير المباشرة.

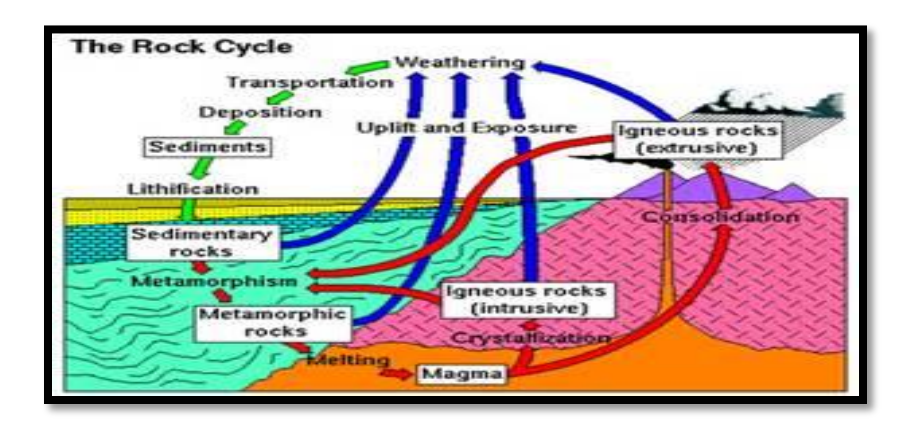
أ – دورة الصخور وتكتونية الألواح :

عندما اقترح جيمس هاتون دورة الصخور لأول مرة لم تتوافر لدية وقتها سوى معلومات قليلة عن العمليات التي يتكون بها أحد الصخور من النوعين الآخرين، رغم وجود أدلة على ذلك. وفي الحقيقة، فإن الدورة الكاملة للصخور لم تتضح إلا منذ عهد قريب، بعد ظهور نظرية تكتونية الألواح.

ويمكن شرح الطريقة التي ترتبط بها دورة الصخور مع تكتونية الألواح مما يحدث عند حدود الألواح المتقاربة. حيث تنشأ الصهارة بسبب انصهار بعض أنواع الصخور فوق نطاق الاندساس، ثم تصعد تلك الصهارة خلال الغلاف الصخري العلوي لأنها أقل كثافة من الصخور خلال الغلاف الصخري العلوي لأنها أقل كثافة من الصخور المحيطة، وتتبلور وتكون الصخور النارية. وقد تتبلور بعض الصهارات قبل أن تصل إلي سطح الأرض لتكون الصخور النارية المتداخلة، بينما ينبثق البعض الآخر ويتصلب على سطح الأرض لتكون الصخور البركانية. فإذا تعرضت الصخور النارية للغلاف الجوي، وبالتالي للتجوية والتعرية، فإن الحطام الصخري والمواد المذابة تنتقل إلي الحواف القارية لتترسب في طبقات قد تصل إلي آلاف الأمتار سمكا. ومع مرور الوقت، فإن طبقات الرواسب تتصخر لتكون وتدا سميكا من الصخور الرسوبية يحد القارات. وقد يضطرب الهدوء النسبي للنشاط الرسوبي في نهاية الأمر علىامتداد الحافة القارية، إذا أصبحت المنطقة عبارة عن حد لوح متقارب. وعندما يحدث ذلك، فإن الغلاف الصخري المحيطي المجاور للقارة يبدأ في الهبوط والاندساس تحت القارة في الغلاف اللدن (الأسثينوسفير). ويؤدي الاندساس على امتداد تلك الحواف القارية النشطة إلي تشوه الرواسب في أحزمة طولية .

من الصخور المتحولة. وعندما يستمر اللوح المحيطي في الهبوط، فإن بعض الرواسب التي لم تشوه أثناء تكون الجبال تحمل إلي أسفل في الغلاف الصخري اللدن (الأسثينوسفير) الساخن، حيث تتحول أيضا. وتنتقل في النهاية بعض الصخور المتحولة إلي أعماق أكبر، حيث ترتفع درجات الحرارة والضغط بدرجة تكفي لأن يحدث انصهارا جزئيا فتتكون الصهارة. وتصعد الصهارة المتكونة حديثا لتصعد إلي أعلى لتكون صخورا نارية. وهكذا تبدأ دورة الصخور من جديد.







الفصل الثالث : الصخور النارية



الصخور النارية المتبلورة من الصهير تشكل نحو ٩٥% من العشرة كيلومترات العليا من القشرة الأرضية. والصهير مكون أساساً من عنصر الأكسجين O والسيليكا Si والألومنيوم Al والحديد Fe والكالسيوم Ca والماغنسيوم Mg والصوديوم Na والبوتاسيوم K، إضافة إلى كميات لا بأس بها من الماء H_2O وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وكميات قليلة من الكبريت على شكل كبريتيد الهيدروجين H_2S ؛ ومن الكلور على شكل حمض الهيدروكلوريك HCl ؛ ومن الكربون على شكل أول أكسيد الكربون CO_2 .



تتكون معظم الصخور النارية من معادن سيليكاتية تبلورت من الصهارة عند درجات حرارة تتراوح بين ٧٠٠م و١٢٠٠م . وتعتبر الصخور النارية تسجيلا للتاريخ الحراري للأرض بالإضافة إلي الدور المهم الذي يلعبه النشاط الناري في نشأة وانتشار قيعان المحيطات ونشأة الجبال والقارات.

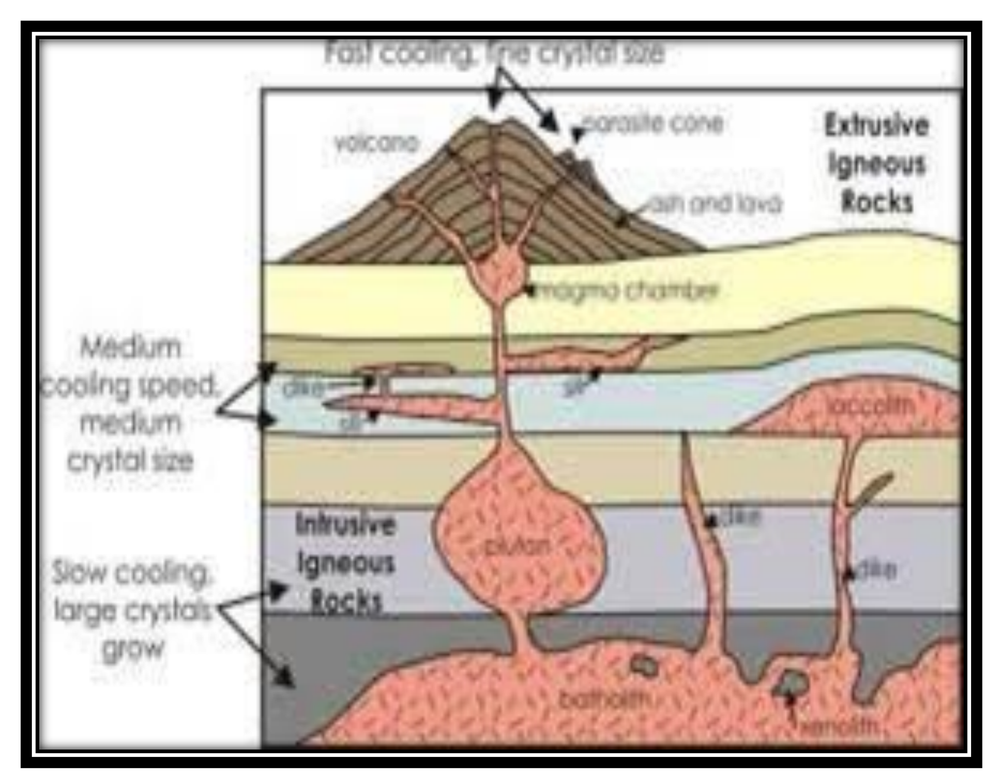
<u>تبلور الصهير:</u>

حرارة الصهير العالية في حالته السائلة تجعل أيوناته حرة الحركة دونما ترتيب معين. وبرودته تبطئ حركتها العشوائية وتجعلها نظيماً تحكمه شحنات الأيونات نفسها وحجومها. وينجم عن استمرار البرودة وانتظام الأيونات وترابطها كيماوياً ما يعرف ببلورة المعدن. ولا تتبلور جميع مكونات الصهير في آن واحد عند درجة حرارة واحدة وإنما يتكون فيه عدة مراكز بلورية يستمر

نموها بإضافة أيونات جديدة من الصهير إليها إضافة منتظمة. ولا يلبث نمو هذه المراكز أن يتوقف و تتقابل حافاتها. بيد أن التبلور يستمر في المواقع الأخرى إلى أن تتبلور جميع مادة الصهير مكونة كتلة من البلورات المختلفة المتماسكة، على شكل صخر ناري.

ويتحكم المعدل الزمني لبرودة الصهير في عملية التبلور وحجم البلورات الناتجة. فعندما يكون معدل برودته بطيئاً جداً فإن المراكز البلورية فيه تكون قليلة نسبياً ما يتيح وقتاً ومكاناً كافيين لنمو البلورة ولذا يكون حجم البلورات كبيراً. وفي المقابل عندما يكون معدل برودة الصهير سريعاً يتكون العديد من مراكز التبلور ما يجعل نمو البلورات يتوقف بسرعة عند تتقابلها ولذلك يكون حجمها صغيراً. أما إذا تعرض الصهير لبرودة مفاجئة فإنه يتجمد في لحظات قبل أن تنتظم أيوناته على شكل بلوري لذا يكون توزُّعها عشوائياً وتكون الصخور الناتجة زجاجاً (غير بلورية.

وقد أوضحت الدراسات الحديثة أن الصخور تنصهر في بعض الأماكن العميقة الساخنة من القشرة الأرضية والوشاح ثم تتدفع المواد المنصهرة نحو السطح. وقد تتصلب بعض الصهارات قبل أن تصل إلي السطح لتكون الصخور النارية المتداخلة بينما يخترق بعضها الآخر القشرة الأرضية ليتصلب فوق سطح الأرض ويكون الصخور النارية المنبثقة (البركانية).

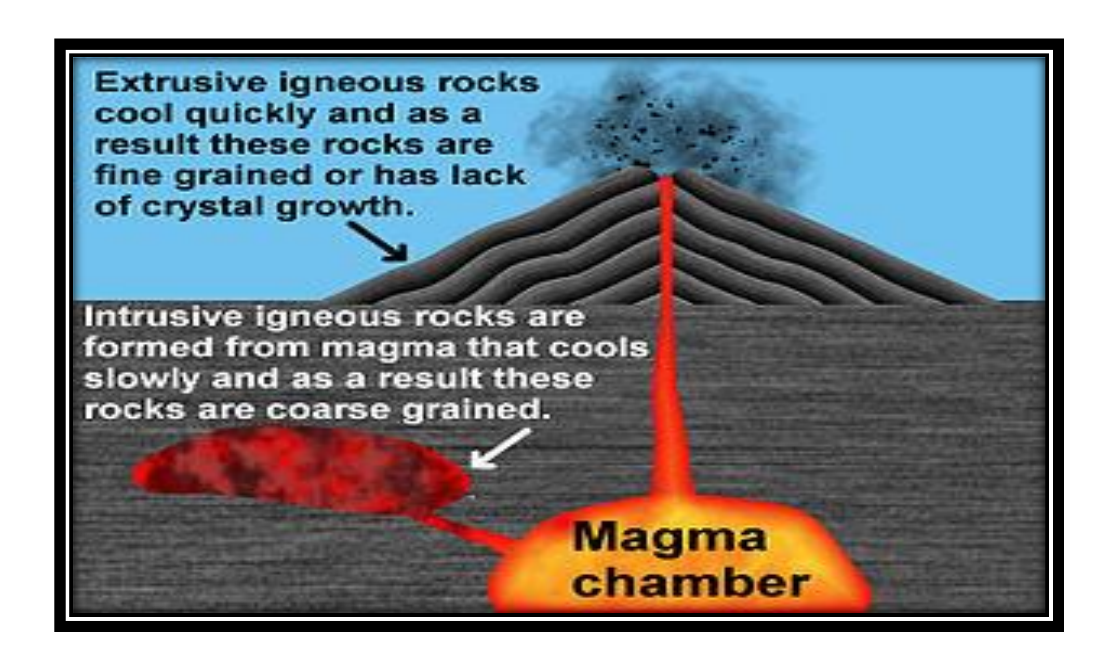


الصهارة التي تفقد القدرة على الحركة قبل بلوغها إلى السطح ، و تتبلور في الأعماق، تسمى صخور متداخلة أو جوفية.

<u>تكون الصخور النارية :</u>

تتكون الصخور النارية عندما تبرد الصخور المنصهرة ان كان فوق سطح الأرض أو في باطنها ، وتسمى هذه الصخور المنصهرة ماجما إذا كانت في باطن الأرض اما اذا ظهرت على سطح

الأرض هذه الصهارة فإنها تسمى لابة، وتنصهر هذه الصخور في الجزء السفلي من القشرة والجزء العلوي من الستار وتحت درجة حرارة تتراوح بين ٨٠٠ درجة مئوية الى ١٢٠٠ درجة مئوية ومصدر هذه الحرارة العالية هما الطاقة المتبقية من تكون الأرض من الصهير الأولي وأيضا طاقة التحلل الإشعاعي للعناصر .



مكونات وأنواع الماجما :

تتكون الماجما من صخور منصهرة وبلورات معادن وغازات مذابة ، ويتم تصنيف هذه الماجما على حسب نسبة السيليكا بها حيث تقسم إلى ماجما بازلتية ونسبة السيليكا بها من ٤٢% إلى ٥٢% وماجما انديزيتية ونسبة السيليكا بها من ٥٢% إلى ٦٦% وماجما ريولاتية نسبة السيليكا بها أكثر من ٦٦% وتؤثر نسبة السيليكا في درجة الانصهار وسرعة التدفق .

أنواع المجاجما:

بازلتية ٤٢-٥٢ %

انديزية ٥٢- ٦٦ %

ريولاتية اكثر من ٦٦ %

تكون الماجما :

هناك أربع عوامل في تكون الماجما وانصهار الصخور :

١- درجة الحرارة :

تزداد الحرارة كلما تعمقنا في باطن الأرض حيث تكون الحرارة بين صفر و ٣٩٠٠ درجة مئوية في الستار الذي يصل عمقه لـ ٣٠٠٠ كم وفي اللب الخارجي الذي عمقه من ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ كم وتكون درجة الحرارة بين ٣٩٠٠ و ٤٣٠٠ درجة مئوية وتستقر درجة الحرارة تقريباً عند ٤٣٠٠ درجة مئوية في اللب الداخلي الذي يكون عمقه من ٥٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ كم .

٢- الضغط :
الضغط يزداد مع العمق وهو نتيجة لوزن الصخور العلوية .

٣- المحتوى المائي :
الصخور تنصهر أكثر إذا كان المحتوى المائي قليل .

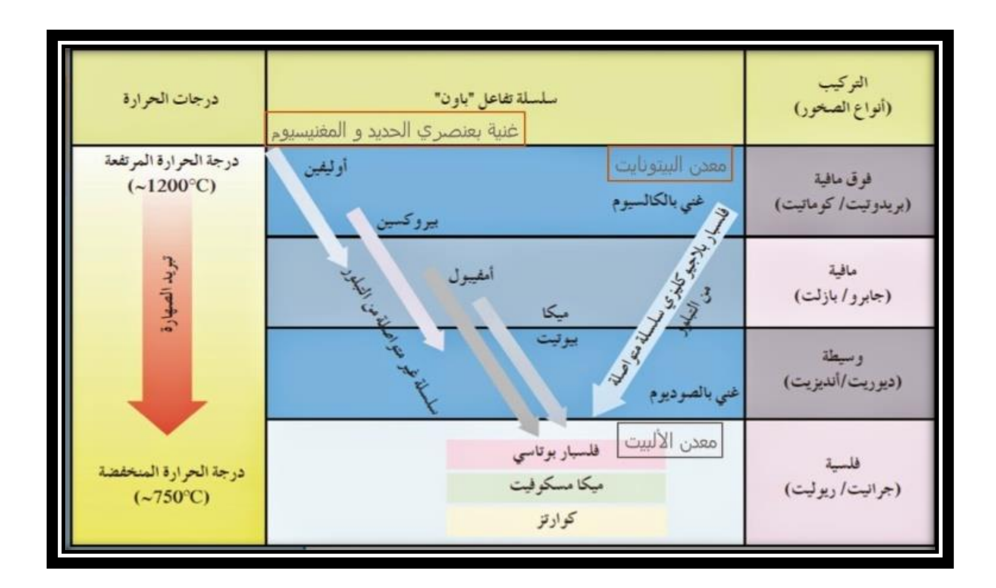
٤- المحتوى المعدني :
تختلف درجة انصهار المعادن على حسب المعدن نفسه فيوجد معادن تنصهر في درجة حرارة قليلة ويوجد معادن أخرى تحتاج إلى حرارة أكثر لتنصهر فمثلاً صخور الجرانيت والريولايت تحتوي على معادن الفلسبار البوتاسي والكوارتز تنصهر في درجة حرارة اقل من صخر البازلت الذي يحتوي على معادن الاوليفين والفلسبار الكلسي .
وتنصهر عناصر الحديد والمغانيسيوم عند درجات حرارة عالية بينما ينصهر عنصر السيليكون عند درجة حرارة اقل .

الانصهار الجزئي :
بسبب اختلاف درجة انصهار المعادن تظهر الماجما بشكل تكون فيه مواد منصهرة وبلورات لمعادن لم تنصهر بسبب عدم وصول درجة الحرارة بشكل كافي يؤدي إلى صهر هذه البلورات .

سلاسل تفاعل باون :
هي عبارة عن كيفية تبرد الماجما وتبلور وتكون المعادن بطريقة يمكن توقعها في الصخور النارية ويوجد بها نمطين للتبلور هي :

أ- المعادن الغنية بالحديد :
تمثل الطرف الأيسر من السلسلة حيث أول من يتبلور هو معدن الاوليفين وهو غني بالحديد والمغانيسيوم ومن ثم يتبلور معدن البيروكسين وبعده معدن الامفيبول ومن ثم معدن المايكا وصولاً لمعدن الكوارتز الغير غني بالحديد والماغنيسيوم ، ونجد أيضا المعادن الفقيرة بالسيليكا(الماجما البازلتية) هي أول من تتبلور وبعدها المتوسطة بالسيليكا (الماجما الانديزيتية) وأخر مايتبلور هي الأغنى بالسيليكا (الماجما الريولاتية) .

ب- معادن الفلسبار :
الفلسبار هو عبارة عن سيليكا مع الالمينيوم وقد يظهر مع هذا الفلسبار معادن أخر مثل الفلسبار الكلسي (فلسبار + كالسيوم) وفي سلسلة تفاعل باون أول مايتبلور هو الفلسبار الكلسي وصولاً إلى الفلسبار البوتاسي (فلسبار + بوتاسيوم) .



التبلور الجزئى :

هي عملية انتقال بلورات المعادن وانفصالها في المعادن المصهور فإن أخر المعادن انصهاراً تكون أول المعادن تبلوراً و أول المعادن انصهاراً هي أخر مايتبلور .

وفي هذا الفصل سنتناول الصخور النارية من زاوية أكثر شمولا وتفصيلاً، سواءً منها الصخور النارية المتداخلة أو المنبثقة، وأيضا العمليات التي تؤدي إلي تكونها.

مميزات عامة للصخور النارية:

تختلف الصخور النارية وتتنوع باختلاف المعادن المكونة للصخر وباختلاف نسبة هذه المعادن وحجم وترتيب بلوراتها . وهناك أنواع عديدة من الصخور النارية قد تصل إلى المئات ، وبالرغم من هذا التنوع فإن هناك صفات مشتركة تتميز بها الصخور النارية عن الأنواع الأخرى من الصخور **وهذه الصفات هي** :

١- توجد في الطبيعة غالبا على هيئة كتل ضخمة ، ولا توجد على هيئة طبقات متتابعة بعضها فوق بعض .
٢- تخلو من الأحافير (بقايا المخلوقات النباتية و الحيوانية)
٣- غالبا ما تكون في حالة متبلورة ويختلف حجم بلورتها باختلاف سرعة تبريد الصهارة الذي تكونت منه ، لذا نجد الصخور التي تكونت في باطن الأرض جوفية ذات بلورات كبيرة الحجم لأنها بردت ببطء .
٤- لا يوجد مسامات أو فراغات بين حبيباتها ، فهي تعد صخورا صماء غير مسامية .
٥- تقاوم بدرجة كبيرة أثر الرياح والأمطار وحرارة الشمس وعوامل التجوية .

تصنيف الصخور النارية :

بدأ الجيولوجيون منذ نهاية القرن الثامن عشر في دراسة الصخور النارية من خلال المشاهدات الحقلية ومع بداية القرن التاسع قاموا بإجراء الدراسات المعملية على تلك الصخور لتحديد تركيبها الكيميائي والمعدني وتصنيفها متبعين نفس الطريقة التي نتبعها اليوم اعتمادا على خواص النسيج والتركيب المعدني والكيميائي. وتعد الدراسة الحقلية أمرا مفيدا في تصنيف الصخور النارية أحيانا.

يعرف الصخر بصفة عامة بأنه مادة صلبة طبيعية تتكون من تجمع معدنى من أكثر من معدن وفى أحوال محدودة يتكون من معدن واحد . ويطلق عليه فى هذه الحالة بأنه صخر وحيد المعدن Monomineralic Rock وتختلف الصخور فيما بينها إختلافا كبيرا ويتوقف هذا الاختلاف على عدة عوامل أهمها :

1 - المحتوى المعدنى للصخر. Mineral Conten
2- كيفية النشأة للصخر. Mode of origin
3-كيفية التواجد. Mode of occurrence

وتعد الصخور النارية هى الأصل الذى اشتقت منه باقى أنواع الصخور (رسوبية - متحولة) لذا يطلق عليها أحيانا الصخور الأولية Primary rocks إذ أنها أول ما نشأ من صخور نتيجة لتصلد المادة الصخرية المنصهرة القابعة على عمق غير معروف بالضبط فى باطن الأرض والتى تعرف باسم الصهير أو الماجما Magma وذلك بسبب التبريد التدريجى والمستمر وقد يحدث أحيانا أن يرتفع هذا الصهير فى مناطق ضعف فى القشرة الأرضية فيخرج على هيئة حمم أو لابه Lava كما يرى ذلك فى البراكين فتتصلد الحمم للانخفاض السريع فى درجة الحرارة مكونة صخورا نارية بركانية.

تلك كانت نظرة عابرة على كيفية نشأة الصخور النارية بوجه عام غير أن النظرة الفاحصة لتلك الكيفية ليست بمثل هذه السهولة إذ أن الظروف الفيزيائية والكيميائية والتى تعرف اختصارا بالظروف الفيزيوكيمائية Physico – chemical conditions للصهير هى العامل الحاسم والأساسى فى كيفية نشأة الصخور النارية . بمعنى أن اختلاف أنواع الصخور راجع إلى التنوع الكيميائى للصهير كما يرجع إلى العمق الذى نشأت وتكونت فيه .

كيفية التواجد والنسيج: Mode of ocurrence and texture

النسيج هو العلاقة الشكلية و الهندسية المتبادلة بين المكونا ت المعدنية أو المادة الزجاجية في الصخر ٠ . يعتمد النسيج عموماً على مكان تبريد الصهير وطريقته .

·تقسم الصخور النارية من حيث النسيج إلى قسمين :

1- صخور متبلورة crystalline rocks .

2- صخور فتاتيه clastic rocks .

- **الصخور المتبلورة** :

·**تقسم الصخور المتبلورة حسب حجم حبيباتها إلى التالي :**

١ - **نسيج خشن الحبيبات** وينتج هذا النسيج عن تبريد بطئ لذا نجد بلورات المعادن كبيرة و منتظمة التوزيع و متساوية الحجم.

٢ - **نسيج بورفيري** وينتج هذا النسيج عند احتواء الصخر على نوعين من البلورات مختلفين في الحجم وزمن التبلور . تكون البلورات الأصغر حجماً أرضية الصخر groundmass وتحيط بالبلورات الأكبر حجماً والتي تسمى بالبلورات الظاهرة) فينوكريست (phenocryst .

٣ - **نسج دقيق التحبب** وفي هذا النسيج تكون جميع بلورات المعادن المكونة للصخر صغيره في الحجم ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة .
٤ - **نسيج زجاجي** ويشبه إلى حد كبير الزجاج العادي وهو النسيج المميز للصخور البركانيه .

٥- **نسيج زجاجي بورفيري** vitrophyric وينتج هذا النسيج عندما تتكون بعض البلورات الظاهرة محاطة كلياً بأرضية زجاجية .

- **الصخور الفتاتيه** :

·**نسيج فتاتي** clastic or fragmental وفي هذا النسيج نلاحظ تلاصق القطع الصخريه المتنوعه الاشكال (الناتجه عن الانفجارات البركانيه) بعضها بالبعض الآخر وهذه تكون اساسا الضخور البركانيه الفتاتيه.

نسيج فتاتي (طف (tuff):
يقصد بنسيج الصخر حجم بلورات المعادن المكونة له. وهو خاصية مهمة جداً لأنه توضح البيئة التي تكون فيها الصخر الناري . وأهم العوامل المؤثرة في نسيج الصخور النارية هو معدل برودة الصهير الذي تبلورت منه. ومعدل البرودة يرتبط بمكانها. فعندما تكون في أعماق القشرة الأرضية على شكل باثوليت أو لاكوليت أو جُدة يكون فقدانها بطيئاً أي يكون معدلها بطيئا ويكون هناك وقت كافٍ لنمو البلورات إلى حجوم كبيرة وتكون الصخور المتشكلة خشنة النسيج . ولأن هذه الصخور تكونت من الصهير داخل القشرة الأرضية فإنها تسمَّى صخوراً نارية جوفية. أما إذا وصل الصهير إلى السطح قبل أن يتبلور فإنه يتدفق فوقه على شكل لابةLava فيبرد بسرعة قبل أن يتاح الوقت الكافي لنمو بلورات المعادن نمواً وافيا ما يجعل حجوم بلورات الصخر المتكون صغيرة أي أن هذه الصخور تكون ناعمة النسيج حتى إنه لا يمكن تمييز بلورات المعادن المختلفة المكونة للصخر بالعين المجردة .وتسمَّى الصخور التي تبلورت المعادن المكونة لها من الصهير فوق سطح الأرض صخوراً نارية سطحية أو بركانية. ويوجد أحياناً فراغات في الصخور النارية البركانية على شكل فتحات كروية أو مستطيلة تسمى الحويصلات وذلك ناتج من تسلل الغازات من الصهير عند التبلور في الجزء الخارجي من طفوح اللابة.

ميز العلماء بين نوعين من الصخور النارية حسب موقع النشأة إلى صخور نارية جوفية وصخور نارية سطحية .

أ - الصخور النارية الجوفية وتعرف أحيانا بالصخور البلوتونية: Plutonic rocks

وهى الصخور التى تكونت على أعماق كبيرة فى جوف الأرض ويحدث التصلب نتيجة للتبريد البطيء والمستمر تحت الضغط المرتفع مع وجود المواد الطيارة Volatiles مما يتيح الفرصة لنمو بلورات المعادن المكونة للصخر النارى الجوفى الأمر الذى ينعكس بالتالى على نسيج الصخر نفسه فيصبح ذا نسيج خشن Goarse – grained يمكن تمييز محتواه المعدني بالعين المجردة مثل صخور الجرانيت والديوريت والجابرو وجميعها من صخور النارية الجوفية التى تتميز بنسيجها الخشن .

ب - الصخور النارية والسطحية (البركانية): Extrusive (Volcanic) rocks

تتكون هذه النوعية من الصخور النارية نتيجة لتصلب الحمم (اللابة Lava (المندفعة من فوهات البراكين عند السطح فى ظروف عكس الظروف المكونة للصخور الجوفية تماما إذ يتم التبريد بسرعة مما لايتح الفرصة لنمو بلورات المعادن المكونة للصخر فيصبح النسيج فى هذه الحالة دقيق التحبب Fine – grained وربما لا تتكون بلورات على الإطلاق إذا كان التبريد فجائيا فيصبح النسيج فى هذه الحالة زجاجيا Glassy .

ج - الصخور النارية المتداخلة: Intrusive rocks

على الرغم من وجود النوعين السابقين من الصخور النارية فإن البعض قد ميز **نوعا ثالثا** هى الصخور النارية المتداخلة وهى لا تتكون على أعماق كبيرة مثل الصخور الجوفية ولا تتكون أيضا على السطح مثل الصخور البركانية وإنما تتكون فيما بينهما ولذا تعرف أحيانا **بالصخورالنارية تحت سطحية Hypabyssal rocks** .

ومن الطبيعى فى هذه الحالة أن يكون النسيج وسطيا أى أنه ليس بالنسيج الخشن ولا الدقيق وإنما هو **نسيج متوسط التحبب . Medium – grained** وتشمل هذه النوعية من الصخور ، **صخور الجدد** (القواطع)Dykes **والسدود** Sills الخ . وتشمل مكانا وسطا تقريبا بين الصخور النارية الجوفية والصخور النارية السطحية • وعلى هذا فإن النسيج يعكس فى الواقع معدل التبريد فالتبريد السريع ينتج عنه نسيج دقيقا لتحبب كما ينتج عن التبريد البطىء والمتجانس حبيبات كبيرة الحجم وهو النسيج خشن التحبب. غيرأنه قد يصادفنا أحيانا صخر ذو نسيج متفاوت التحبب أى أن حبيباته غيرمتجانسة فى الحجم حيث يبدو فى الصخر حبيبات كبيرة الحجم

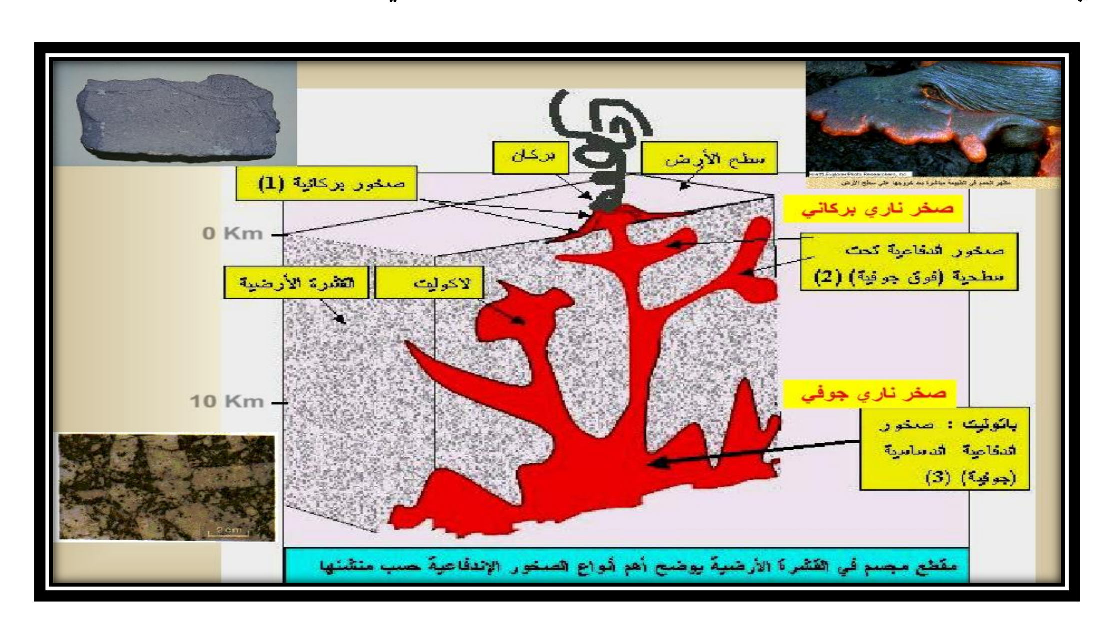
فى أرضية دقيقة التحبب ويطلق على مثل هذا النسيج **النسيج البورفيرى** Porphyritic texture ولأن النسيج يعكس إلى حد كبير نشأة الصخر فإن هذا النسيج يتكون بعدة طرق مختلفة وأهم هذه الطرق هو التغير الحادث فى الظروف الفيزيائية والكيميائية التى تتحكم فى نمو البلورات ، فالبلورات الظاهرة Phenocrysts تنشأ في الأعماق حيث الضغط العالى ومعدل التبريدالبطىء

والمنتظم وعندما ينتقل الصهير بما يحمله من بلورات ظاهرة إلى مستوى أعلى داخل القشرة الأرضية أو حتى يخرج إلى السطح فإنه يحدث اختلال فى معدل التبريد حيث يصبح أسرع فتنشأ فى هذه الحالة البلوراتالدقيقة الحجم وبهذا يتكون النسيج البوفيرى .

وتعرف أنسجه الصخور النارية المكونة من بلورات متشابكة بأنها أنسجة متبلورة بينما تعرف أنسجة الصخور المكونة من كسرات بلورية أو صخرية بالأنسجة الفتاتية النارية. وتوصف الصخور النارية حسب **درجة تبلور المعادن** المكونة لها بواحد من ثلاثة مصطلحات: **إما كاملة التبلور** إذا تكونت كلية من مادة متبلورة أو **كاملة الزجاجية** إذا تكونت كلية من الزجاج أو **ناقصة التبلور** إذا احتوت على بلورات وزجاج معا.

أما بالنسبة لحجم الحبيبات، فيوصف نسيج الصخر الذي لا يحتوي على مواد متبلورة بأنه **زجاجي النسيج** وتسمى المواد المتبلورة التي تكون حبيباتها صغيرة (أقل من ٢مم)، بحيث يستخدم الميكروسكوب لتمييزها بأنها **خفية التحبب** أما المواد المتبلورة التي يمكن تمييز بلوراتها بالعين المجردة (أكبر من ٢مم) فتوصف بأنها ذات **نسيج واضح التبلور**. وتصنف كل الصخور النارية ذات النسيج واضح التبلور إلي **دقيقة التحبب** عندما يكون حجم الحبيبات أقل من ١مم، **ومتوسطة التحبب** عندما يكون حجم الحبيبات بين ١مم و٥مم، **وخشنة التحبب** عندما يكون حجم الحبيبات بين٥مم و٣مم.

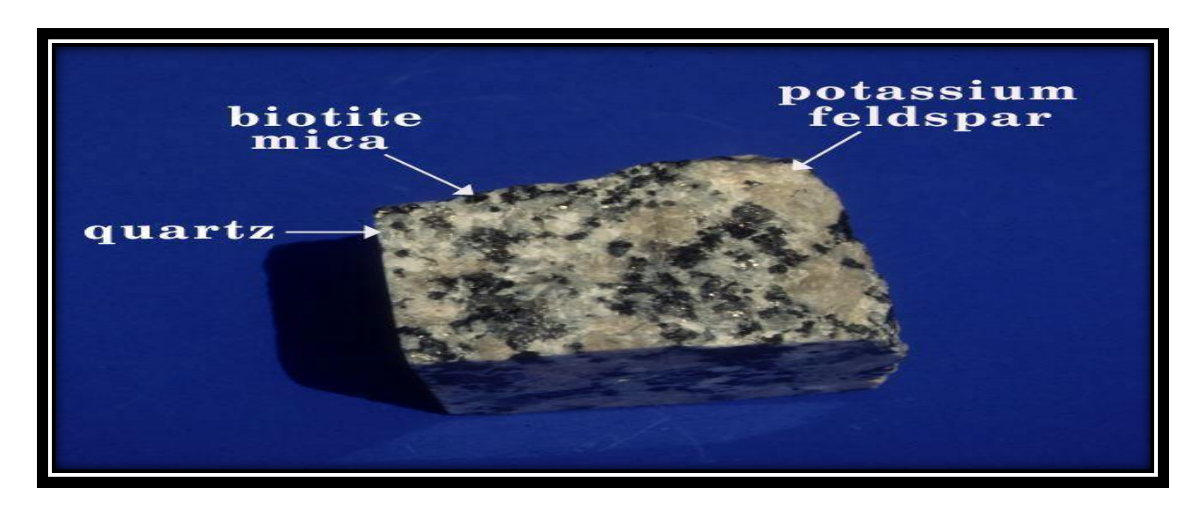
كما أن هناك بعض المصطلحات الإضافية التي تستخدم لوصف صخور ذات حجم مميز، فمثلا **توصف الصخور التي يزيد فيها حجم الحبيبات عن ٣سم طولا بأنها خشنة التحبب جداً أو بجماتيتية** . وعلى الرغم من أن كثيرا من الجيولوجيين يفضلون استخدام مصطلح بجماتيت للصخور السيليكية (الجرانيتية) ذات حجم البلورات الخشن جدا، فإن هذا المصطلح قد يستخدم لأي صخر تكون بلوراته كبيرة بغض النظر عن تركيبه المعدني.



وتعرف الأنسجة البورفيرية: بأنها أنسجة تتكون من بلورات كبيرة الحجم في أرضية من حبيبات أصغر أو في وسط زجاجي. وتسمى البلورات الكبيرة بالبلورات **الظاهرة (فينوكريست)** وهى

البلورات التي تكونت أثناء وجود الصهارة تحت سطح الأرض، ثم حدث الانفجار البركاني قبل أن تتمكن بقية البلورات المكونة للأرضية من النمو. وعند انبثاق الصهارة إلي سطح الأرض فإن اللابة تبرد بسرعة وتتحول إلي كتلة متبلورة من بلورات ظاهرة وكبيرة الحجم في أرضية دقيقة التحبب.

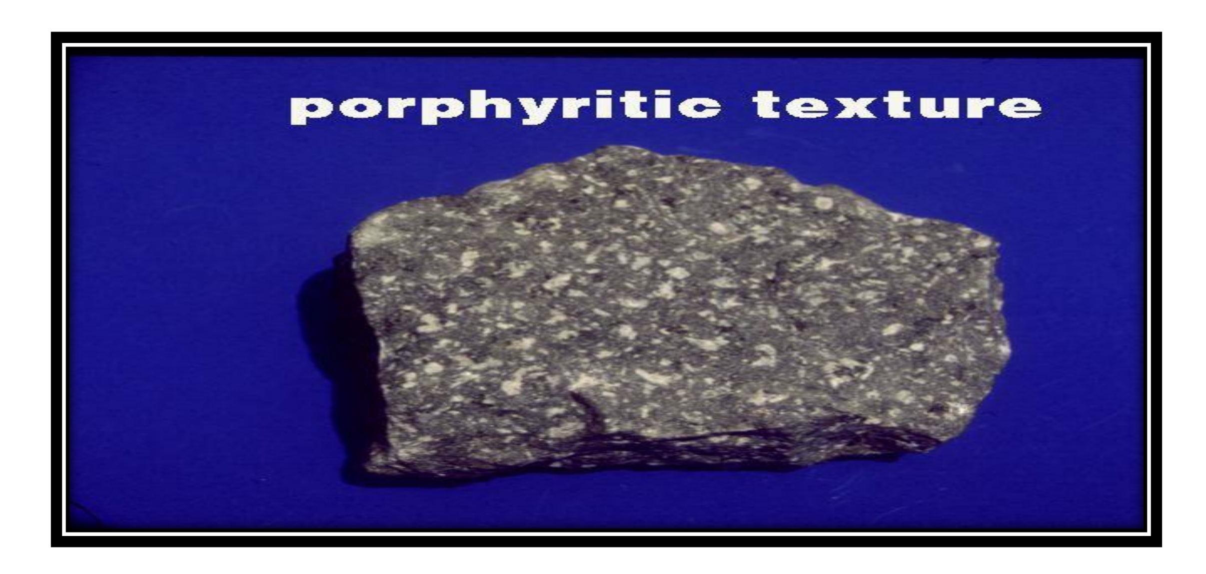
A-COARSE GRAINED TEXTURE :



B) FINE GRAINED TEXTURE (APHANITIC)**:**



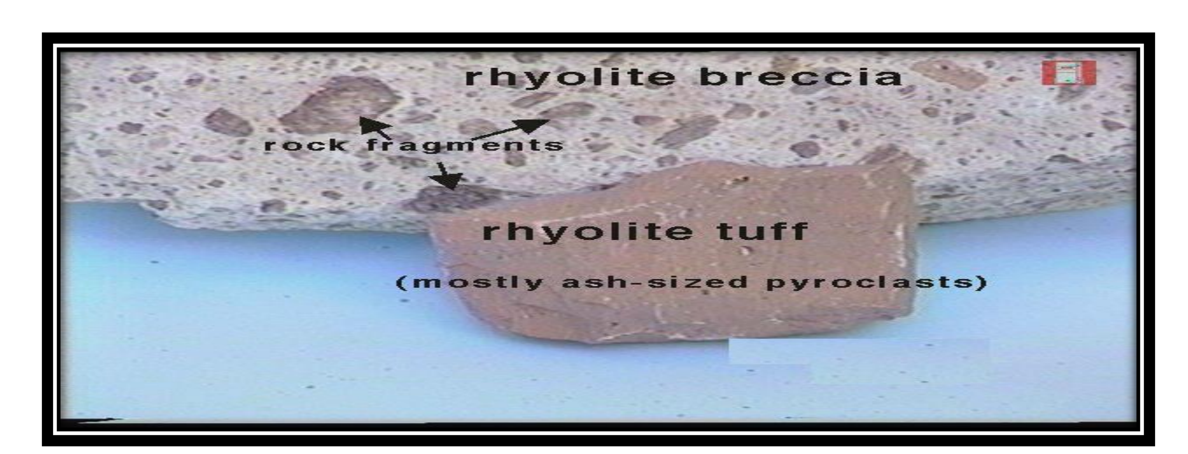
C) PORPHYRITIC TEXTURE



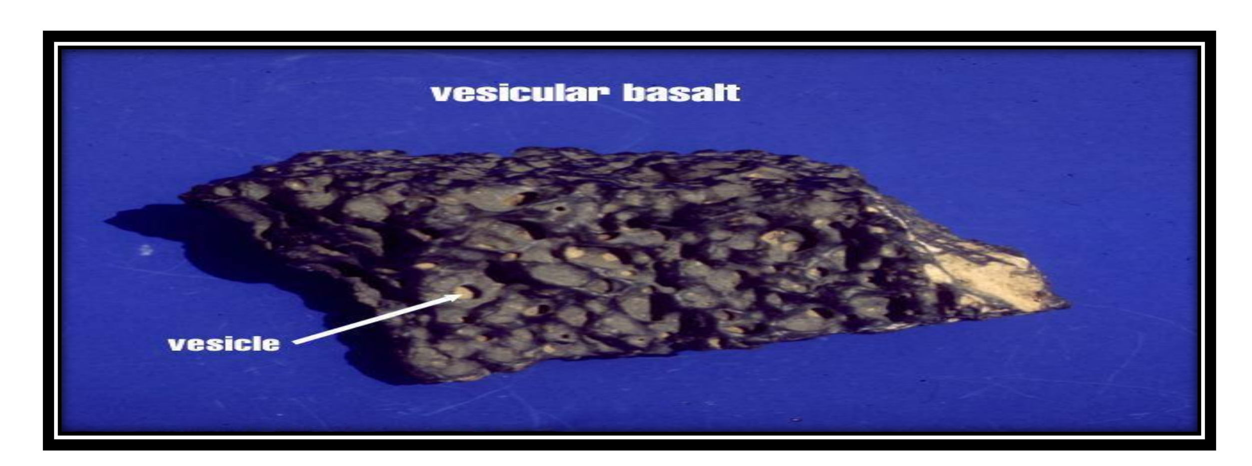
D) GLASSY TEXTURE :



E) PYROCLASTIC TEXTURE :

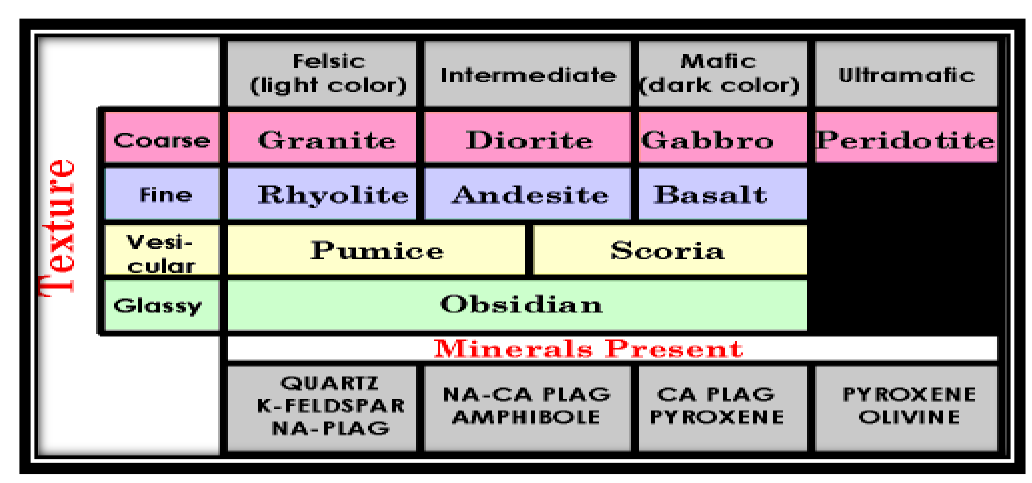


F) VESICULAR TEXTURE;



G) FROTHY TEXTURE :





Texture	Felsic (light color)	Intermediate	Mafic (dark color)	Ultramafic
Coarse	Granite	Diorite	Gabbro	Peridotite
Fine	Rhyolite	Andesite	Basalt	
Vesi-cular	Pumice		Scoria	
Glassy	Obsidian			
Minerals Present	QUARTZ K-FELDSPAR NA-PLAG	NA-CA PLAG AMPHIBOLE	CA PLAG PYROXENE	PYROXENE OLIVINE

ويمكن تقسيم الصخور النارية بناءً على نسيج الصخر أو طريقة التكوين والتواجد في القشرة الأرضية إلي قسمين رئيسيين، هما: الصخور النارية المتداخلة والصخور النارية المنبثقة.

١ – الصخور النارية المتداخلة :

يرتبط نسيج الصخر بسرعة تبرد الصهارة التي نشأ منها وبالتالي مكان تبريده. فالتبريد البطيء للصهارة في باطن الأرض يسمح بالوقت الكافي لنمو بلورات كبيرة متداخلة والتي تميز الصخور النارية المتداخلة والتي تعرف أيضا بالصخور البلوتونية (الجوفية). والصخر الناري المتداخل هو صخر ناري اندفع بقوة في الصخور المحيطة. كما تعرف الصخور المحيطة بصخور المنطقة أو صخور الإقليم.



٢ – الصخور النارية المنبثقة (البركانية) :

يؤدي التبريد السريع عند سطح الأرض إلي تكون النسيج دقيق التحبب أو الزجاجي والمميز للصخور النارية المنبثقة. وتتكون هذه الصخور حينما تنبثق اللابة، أو أي مواد بركانية أخرى من البراكين. لذلك تسمى هذه الصخور أيضا بالصخور البركانية. وتضم الصخور النارية المنبثقة قسمين رئيسيين هما:

اللابات: وهى صخور بركانية تكونت من اللابة. ويستخدم مصطلح لابة للدلالة على كل من الصهارة التي تنبثق فوق سطح الأرض، وأيضا على الصخر الذي تصلد منها، وتتراوح هيئتها بين الناعمة والجبلية والحادة المسننة والشائكة. ومن المعروف الآن أن عديداً من هذه الأنسجة الخاصة تعتبر أدلة على الظروف التي تكونت فيها هذه الصخور، والتركيب الكيميائي للصهارة التي تكونت منها، والطريقة التي قذفت بها من البراكين.



<u>الصخور الفتاتية النارية:</u> تتكون الصخور الفتاتية النارية أثناء الانفجارات الأكثر عنفا، وذلك حينما تندفع قطع مكسرة من اللابة والبلورات والزجاج عاليا في الهواء. ويضم الفتات الناري البلورات التي بدأت في التكون قبل عملية الانفجار وكسرات من لابة تصلدت سابقا بالإضافة لقطع من الزجاج بردت وتكسرت أثناء عملية الانفجار. ويعتبر الرماد البركاني أصغر أنواع الفتات الناري حجما، وهو يتكون من حبيبات متناهية في الصغر، تتكون عادة من الزجاج الذي تكون عند اندفاع الغازات الهاربة من البركان في صورة رذاذ دقيق الحبيبات من الصهارة. ويتراكم الرماد البركاني على هيئة طبقات مفككة وغير متلاحمة. وتعرف أحيانا الرواسب المتكونة من الفتات الناري باسم تفرا. وتسمى كل الصخور البركانية المتكونة من هذه المواد الفتاتية النارية بالصخور الفتاتية النارية.

وعندما يكون الزجاج هو المادة الوحيدة المكونة للصخر الناري فإنه يأخذ عدة أشكال منها **البيوميس** (الحجر الخفاف) وهو عبارة عن كتلة خفيفة بها عديد من الفجوات أو الثقوب التي نتجت عن هروب الغازات المحبوسة من الصهير المتصلب. ومنها أيضا **الأوبسيديان** وهو عكس البيوميس حيث لا يحتوي على أي فجوات نتيجة هروب الغازات ولذلك يكون صلبا وكثيفا، ويتميز بمكسره المحاري، كما يتميز الأوبسيديان المكسور بحوافه الحادة ولذلك فقد استخدمه سكان أمريكا الأصليون كرؤوس للحراب وأدوات للقطع.

<u>وسنتناول فيما يلي طريقة لتصنيف الصخور النارية :</u>

<u>التركيب المعدني:</u>

يتوقف التركيب المعدني للصخور النارية على كيماوية الصهير الذي تبلورت منه معادنها الصخر. وقد كان يفسر التنوع في التركيب المعدني للصخور النارية بافتراض وجود أنواع مختلفة من الصهير تختلف في تركيبها الكيماوي . وفي الربع الأول من القرن العشرين اكتشف الجيولوجي باون أنه عندما يبرد الصهير في المعمل فإن معادن محددة تتبلور أولاً ومع تتابع انخفاض حرارة الصهير تبدأ معادن أخرى بالتبلور من الصهير المتبقي بعد تبلور المعادن السابقة. وبتتابع عمليات التبلور يستمر التركيب الكيماوي للصهير المتبقي في التغير. ولأن المعادن، التي تتبلور منه أولاً تحت درجات حرارة عالية هي المعادن التي درجة ذوبانها عالية وهي المعادن ذات المحتوى العالي من الحديد Fe والماغنسيومMg فإن محتوى الصهير من هذين العنصرين يتناقص مع تبلور المعادن الغنية بهما في حين تزداد فيه مع تتابع تبلور المعادن، نسبة السليكاSi ، والصوديومNa ، البوتاسيوم .K وقد عرف هذا التتابع لتبلور المعادن من الصهير باسم تتابع تفاعلات باون . ويفرق تتابع تفاعلات باون بين تتابع تبلور المعادن من الصهير الغني بالكالسيوم قبل بداية عمليات تبلورها وبين التتابع الناتج من تبلورها من صهير مفتقر إلى الكالسيوم وغني بالحديد والماغنسيوم . ففي الحالة الأولى يعرف التتابع بالسلسلة المتصلة حيث تتبلور منه الفلسبارات الغنية بالكالسيوم، مثل الأنورثايت .CaAl2Si2O8 ثم يتوالى تبلور فلسبارات البلاجوكليز في سلسلة متصلة يتناقص محتواها من الكالسيوم ويزداد محتواها من الصوديوم لتنتهي هذه السلسلة إلى تبلور معدن الألبايتNaAlSi3O8 ، الخالي من الكالسيوم.

أما إذا كان الصهير الأصلي مفتقر إلى الكالسيوم وغنياً بالحديد والماغنسيوم فإن تتابع تبلور المعادن يكون في سلسلة منفصلة فعند درجات الحرارة العالية تبدأ معادن الأوليفين Olivine بالتبلور وهي معادن غنية بالحديد والماغنسيوم وتكون فيها وحدات بناء رباعية الأسطح السليكاتية منفصل بعضها عن بعض .Nesosilicates وبعد أن تتناقص نسبة الحديد

والماغنسيوم قليلاً فإن الصهير المتبقي بعد تبلور معادن الأوليفين منه يبدأ تبلور معادن البيروكسين Pyroxenes مثل: الأنستاتياتMgSiO3 Enstatite ، والدايوبسايد Diopside CaMgSi2O6، المكونة بنيتها الأساسية من سلسلة مفردة من رباعيات الأوجه السليكاتية . Inosilicatsومع استمرارية تناقص محتوى الصهير، المتبقي من الماغنسيوم وازدياد نسبة السليكا تتبلور معادن الأمفيبولAmphiboles ، مثل: الهورنبلندHornblede ، والجلوكفين Glaucophane؛ والمكونة بنيتها الأساسية من سلسلة مزدوجة من رباعيات الأوجه السليكاتية. وتليها معادن المايكاMica ، مثل معدن البايوتيتBiotite ؛ والمكونة بنيتها الأساسية من صفائح من رباعيات الأوجه السليكاتية.Phylosilicats .

وفي المرحلة النهائية من تبلور الصهير بعد استنفاد القواعد، وتركُّز السليكا والألومنيوم في الصهير المتبقي من تتابع تبلور المعادن، سواء في السلسلة المنفصلة أو المتصلة؛ تبدأ المعادن الحمضية، ذات المحتوى العالي من السليكا، بالتبلور، ابتداءً بالفلسبار البوتاسيK-Feldspar ثم المسكوفايتMascovite وأخيراً، المرو (الكوارتزQuartz SiO2 (المكون من شبكة متصلة في جميع الاتجاهات من رباعيات الأسطح السليكاتية. لذلك تكون الصخور المكونة من المعادن التي تبلورت من الصهير في البداية عند درجات حرارة عالية صخوراً قاعدية دكناء اللون لاحتوائها على نسبة عالية من الحديد والماغنسيوم. أما الصخور المكونة من المعادن التي تبلورت في آخر التتابع فتكون صخوراً حمضية لانخفاض نسبة الحديد والماغنسيوم، وارتفاع نسبة السليكا فيها.

هناك اختلاف كبير في لنسيج الصخور النارية وتركيبها المعدني نظراً إلى الاختلافات الكبيرة في التركيب الكيماوي للصهير الذي تتبلور منه وظروف ذلك التبلور. ولأن خصائص الصخور لا تتغير فجأة بل بالتدرج، فإن تسمية الصخور النارية ووضع الحدود الفاصلة بين الأنواع المختلفة، لا بد أن يكون عشوائياً إلى حد ما.

وقد اقترح العديد من نظم تصنيف الصخور النارية إلا أن التصنيف القائم نسيجها وتركيبها المعدني هو الشائع والأسهل إدراكاً لغير المتخصصين بعلم الصخور Petrology .

هناك أربعة عوامل لتصنيف الصخور النارية هي:

١- نسبة السليكا:

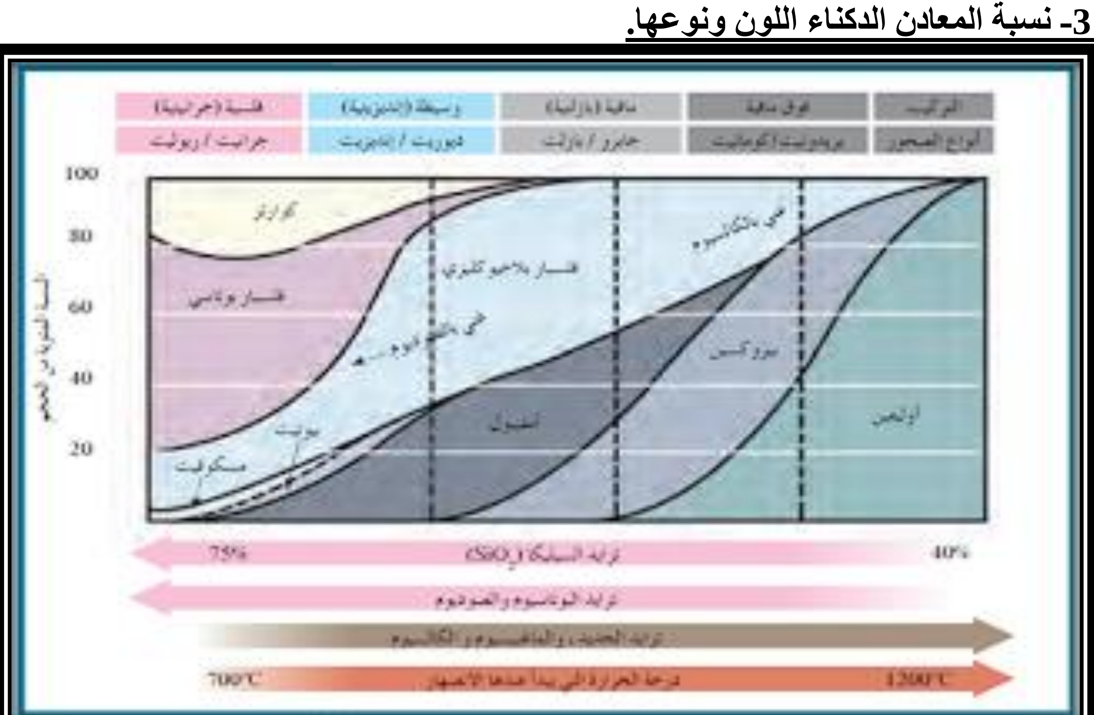
يدل وجود المروQuartz SiO2 والتريديمايتTridymite SiO2 والكريستوبولايت Cristobalite SiO2 على ازدياد نسبة السليكا بينما يدل وجود معادن أشباه الفلسبارات Feldspathoids على تناقص تلك النسبة وازدياد نسبة الصوديومNa والبوتاسيوم .K ومن أهم معادن أشباه الفلسبارات معدن النفلينNepheline (Na, K) AlSiO4 ، والصودالايت Sodalite Na 8(AlSiO4)6 Cl2 .

2- نوع معادن الفلسبار:

يعد نوع معدن الفلسبار وكميته النسبية في الصخر الناري من أهم الخصائص. ويفرق هنا بين الفلسبارات القلويةAlkali Feldspars ، مثل: معدن الميكروكلينMicrocline KalSi3O8 ، والأورثوكليزOrthoclase KalSi3O8 ، والساندينSandine (K, Na) AlSi3O8 ؛ وبين

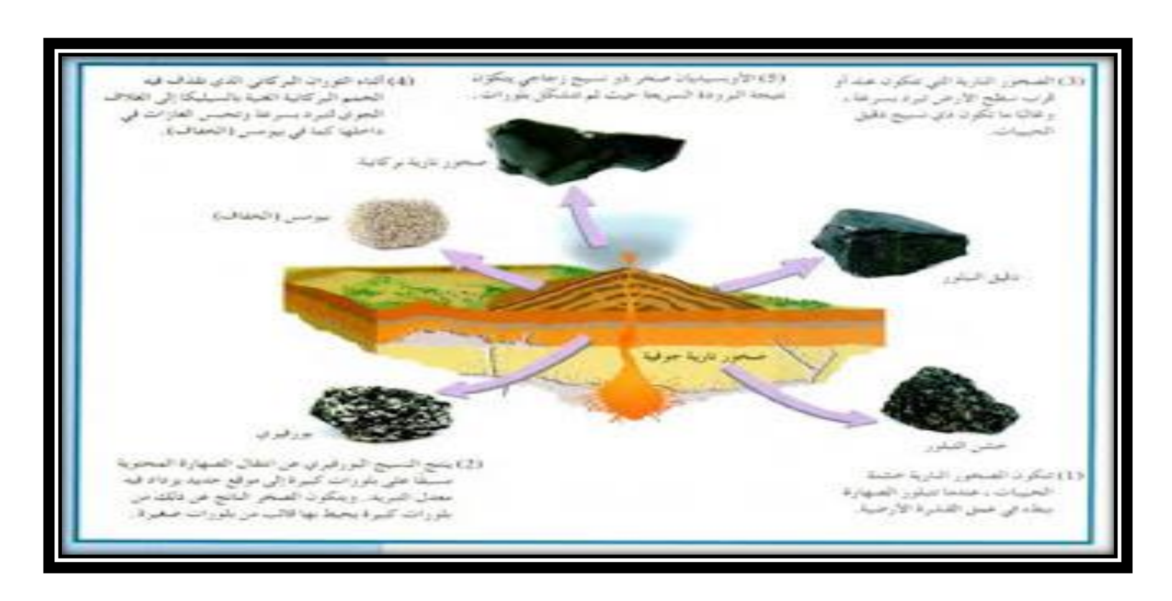
فلسبارات البلاجوكليز Plagioclase ، مثل: الأنورثايت Anorthite CaAl2Si2O8 ، والألبايت Albite NaAlSi3O8.

3- نسبة المعادن الدكناء اللون ونوعها.



4- نسيج الصخر.

يعد نسيج الصخر أو حجم الحبيبات المكونة له من أهم الدلائل على ظروف التبلور إذ يدل النسيج الخشن على تبلور الصخور النارية من الصهير ببطء داخل القشرة الأرضية (صخور جوفية). بينما يدل النسيج الناعم على تبلور الصخور النارية من الصهير بسرعة على سطح الأرض (صخور بركانية).



المعادن الأساسية المكونة للصخور النارية:

- المعادن الأساسية هي التي تكون الجزء الأكبر من الصخور النارية (<٩٠%).
- تشكل معادن السيليكات الجزء الأعظم من ناحية الحجم.

- **المجموعات الرئيسة لمعادن السيليكات هي:**

الكوارتز
الفلسبارت المعادن الفلسيه
الفلسباثويدات
الأوليفين
البيروكسين
الأمفيبول المعادن المافيه
ألمايكا

الكوارتز :

- ألفا كوارتز alpha quartz يتبلور في درجات حرارة أقل من ٥٧٠ درجة مئويه.
- بيتا كوارتز beta quartz يتبلور في درجات حرارة أعلى من ٥٧٠ درجة مئوية
- هناك ارتباط كبير بين نسبة السيليكا SiO2% في الصخر الناري وبين كمية الكوارتز الموجودة في ذلك الصخر.
- عندما تصل نسبة السيليكا حوالي ٦٥% يبدأ ظهور الكوارتز وكلما زادت هذه النسبة كلما زادت نسبة الكوارتز.
- هناك صور أخرى للسيليكا الحره غير الكوارتز تتواجد في الصخور النارية منها:

الكالسيدوني chalcedony
التريديميت tridymite
الكريستوبليت cristobalite

- هذه الأنواع الثلاثة عبارة عن كوارتز دقيق التحبب جدا.
- الكالسيدوني يتبلور في العروق الحرمائية Hydrothermal veins
- التريديميت والكريستوبليت ينحصر وجودهما تقريبا في الصخور البركانية أو في الفراغات الموجودة بها.

مجموعة الفلسبارات Feldspars

- تشكل هذه المجموعة أهم معادن الصخور الناريه على الاطلاق.
- تشتمل هذه المجموعة على سلسلتين:

سلسلة الفلسبار القلوي
سلسلة البلاجيوكليز

الفلسبار القلوي Alkali Feldspar

- يكون الفلسبار القلوي سلسلة محلول جامد solid solution بين المركبين:

أورثوكليز KAISi3O8—— ألبيت NaAISi3O8

- يكون كل من الألبيت (Ab) والأورثوكليز (Or) سلسلة محلول جامد بينهما امتزاج كامل في درجات الحرارة المرتفعة فقط ويقل هذا الامتزاج تدريجيا مع انخفاض درجة الحرارة.

١-الميكروكلين microcline.
يتكون في درجات الحرارة المنخفضة ولذلك ينحصر وجوده في الصخور الجوفيه فقط ولا يوجد في الصخور البركانية.
٢-الأورثوكليز orthoclase.
يتكون من الصهارة في درجات الحرارة المتوسطة لذلك ربما يوجد مع السنادين في الصخور البركانية وكذلك مع الميكروكلين في الصخور الجوفيه.
٣-السنادين sanadine .
يتكون من الصهار في درجات الحرارة المرتفعة فقط ولذلك لا يوجد إلا في الصخور البركانية فقط.
٤-الألبيت albite.
يوجد في كل من الصخور البركانية والجوفية.
٥-الأنورثوكليز anorthoclase.
يعتبر أقل الفلسبارات القلوية شيوعاً وهو متوسط التركيب بين السنادين والألبيت.
أكثر تواجده في الصخور البركانية.
٦-البيرثيت perthite و الأنتيبيرثيت antiperthite.
تقل قابلية المزج بين الفلسبار الصودي والفلسبار البوتاسي مع انخفاض درجة الحرارة وينفصلان عن بعضهما او يلفظ أحدهما الأخر ويكونا ما يعرف بالنمو المشترك اللفظي ex-solution intergrowth حيث يكون أحد الفلسبارين الجزء الأكبر من البلورة ويكون الفلسبار الآخر مكتنفات بداخلها.
إذا كان الجزء الأكبر من البلوره فلسبار بوتاسي يحتوي على ملفوظات ex-solution من الألبيت تسمى البلورة بيرثيت وإذا حدث العكس فإنها تسمى أنتيبيرثيت.
يشيع البيرثيت في الصخور الجوفيه.

مجموعة البلاجيوكليز Plagioclase
• معادن البلاجيوكليز تكون سلسلة محلول جامد متصل في جميع درجات الحرارة بين الألبيت والأنورثيت.
• تقسم معادن البلاجيوكليز إلى ستة معادن حسب تركيبها الكيميائي (النسبة بين Ab و An).
• أهم ما يميز معادن البلاجيوكليز (خاصة الكلسي منها) هو التغيير إلى سوسيريت Saussuritization وهو خليط من معادن الأبيدوت epidote و الأكتينوليت actinolite والكلوريت chlorite والكالسيت calcite والألبيت albite.

مجموعة الفلسباثويدات Feldspathoids
• أهم معدنين في هذه المجموعة هما النفلين nepheline واللوسيت leucite وهما غير مشبعين بالسيليكا ولذلك لا يظهران إلى في الصخور النارية غير المشبعه (أي أن كمية السيليكا في الصهار أقل مما هو مطلوب لتكوين الفلسبارات فيتكون بدلا منها لفلسباثويدات).
• لا توجد مجموعة الفلسباثويدات مع الكوارتز في صخر واحد.
• يوجد النفلين في الصخور الجوفيه والبركانية على حد سواء ويشيع فيه التغيير إلى كانكرينيت cancrinite .
• اللوسيت ينحصر وجوده في الصخور البركانية فقط. وكثيراً ما يحتوي على مكتنفات دقيقة مستديرة الشكل ومرتبه دائرياً بالقرب من حافة البلوره. يبدي اللوسيت توأميه تقاطعيه تشبه توأمية الميكروكلين ولكنها ليست متعامده.

المعادن المافيه:

مجموعة الأليفين Olivine

• تتكون مجموعة الأليفين من عدة معادن في سلسلة محلول جامد واحد بين معدني الفورشتريت Forsterite ((Mg2SiO4 و الفياليت(Fe2SiO4 Fayalite)
• أكثر هذه المعادن شيوعاً هو الفورشتريت.
• يوجد الفورشتريت غالباً في الصخور فوق المافيه والمافيه حيث يكون تركيبه حوالي Fo88.
• يتميز بشكله البلوري الشائع وهو المنشور القصير وكذلك بتضاريسه المرتفعه ومظهره السكري وبتشققاته غير المنتظمة والمتقطعه.

مجموعة البيروكسين Pyroxene

• تشتمل مجموعتي البيروكسين على سلسلتي محلول جامد رئيستين هما:
سلسلة البيروكسين المعيني orthorhombic pyrox وسلسلة البيروكسين أحادي الميل monoclinic pyrox.
• تكون السلسلة الأولى محلول جامد بين الانستاتيت Enstatite (MgSiO3) والفيروسيليت (ferrosilite (FeSio3).
• أهم معادن هذه السلسلة الانستاتيت Enstatite والهيبرثين Hyperthene.
• السلسلة الثانية ثلاثية الأطراف (انستاتيت – فيروسيليت – ولاستونيت). أهم معادن هذه السلسلة الأوجيت augite والبيجونيت pigeonite والدايوبسيد diopside.
• يضاف إلى هذه السلسلتين البيروكسينات القلوية وأهمها الأيجيرين Aegerine و الأيجيرين أوجيت aegerine augite.

١-الأنستاتيت:
اكثر معادن البيروكسين شيوعا في الصخور فوق المافيه.
٢-الهيبرثين:
شائع الوجود في كل من الصخور النارية المافية وفوق المافيه .
٣-الدايوبسيد:
ليس شائعا في الصخور النارية وينحصر وجوده في بعض أنواع الصخور المافيه ولكنه شائع في الصخور المتحوله خاصة تلك الغنية بالكالسيوم والمغنيسيوم.
٤-الأوجيت:
أكثر معادن البيروكسين شيوعا في الصخور النارية ويوجد في معظم أنواعها من فوق المافيه إلى لمتوسطة.لونه يتراوح من عديم اللون إلى بنى باهت جداً ومع زيادة نسبة الحديد فيه تزداد شده اللون ويسمى فيروأوجيت.
٥-الإجيرين:
بيروكسين أحادي الميل صودي تركيبه المثالي NaAlSi2O6 لكنه غالبا ما يحتوي على قليل من الحديد والمغنيسيوم لوجود سلسلة محلول جامد بينه وبين الاوجيت.يوجد في الصخور القلوية سواء المشبعه أو غير المشبعه بالسيليكا.
أهم الخصائص البصرية التي يستعان بها في التمييز بين معادن البيروكسين المختلفة مجهريا هي : اللون والتغيير اللوني – العلامه البصريه – الزاوية البصرية – زاوية الانطفاء.

مجموعة الأمفيبول Amphibole

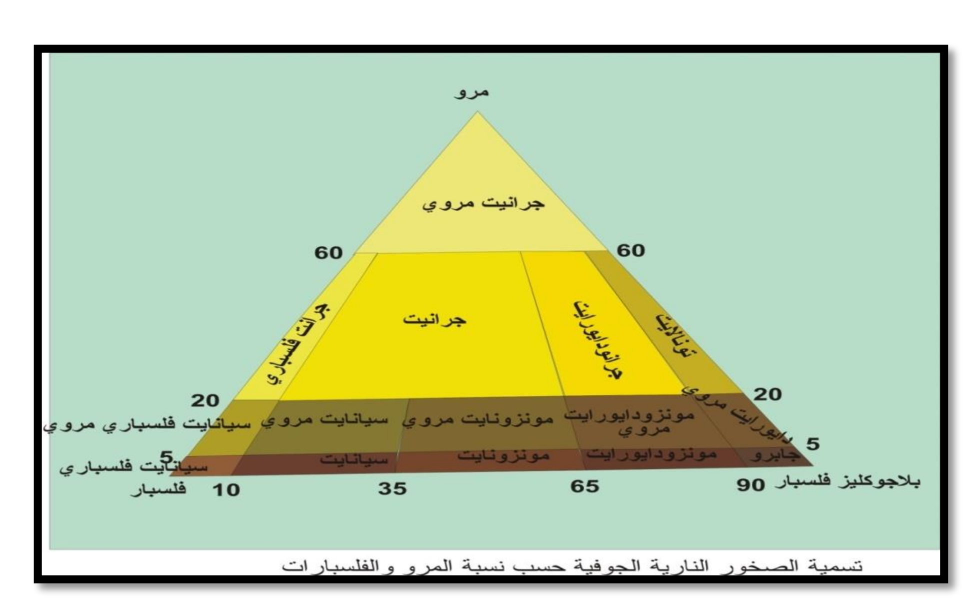
- الأمفيبول يتكون من مركب سيليكاتي معقد يحتوي على كميات متفاوته من العناصر التالية: Ca,Mg,Fe,Al،&(OH) ion.
- أكثر معادن هذه المجموعة شيوعا هو الهورنبلند Hornblende .

مجموعة الميكا Mica

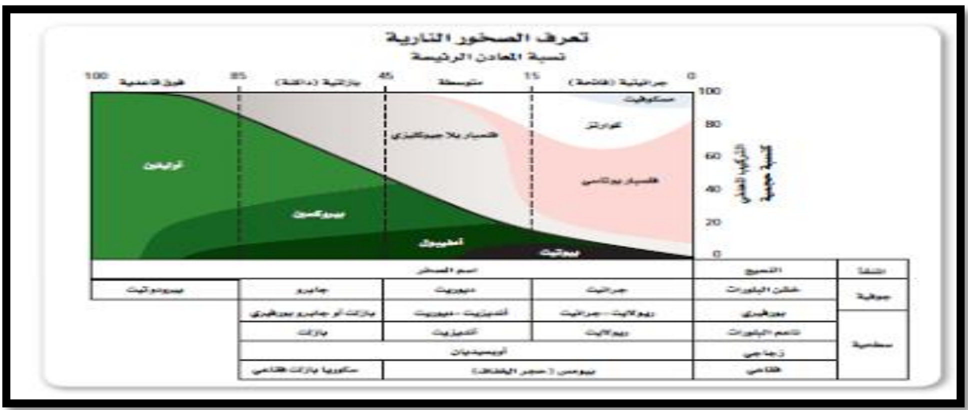
- تتكون هذه المجموعة من عدة مركبات سيليكاتيه تحتوي على كل من Al+K بالإضافه إلى (hydroxyl ion (Oh).
- أهم معدنين في هذه المجموعة هما المسكوفيت muscovite و البيوتيت biotite.

المعادن الإضافيه ونواتج التغيير

- المعادن الإضافيه توجد غالبا على هيئة حبيبات دقيقة منبثه بين المعادن الأساسية وأحيانا على هيئة مكتنفات بداخلها. ولبعض هذه المعادن دلالات هامه بالنسبه لتركيب الصهار تكونت منه الصخور الناريه .
- نواتج التغيير alteration products تنشأ نتيجة تأثر المعادن الأساسية بعوامل التجويه أو تأثير المحاليل الحرمائية أو المياه الجوفيه . من نواتج التغيير مثلا المعادن التاليه: الكلوريت والسربنتين والكربونات والمعادن الطينية والابيدوت.



تسمية الصخور النارية الجوفية حسب نسبة المرو و الفلسبارات



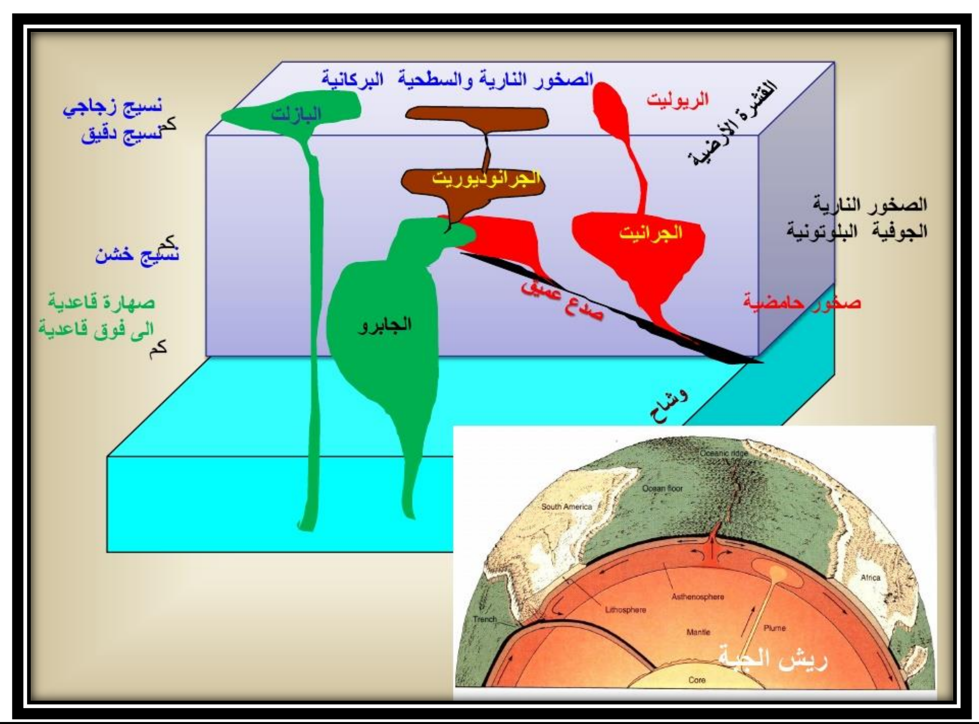


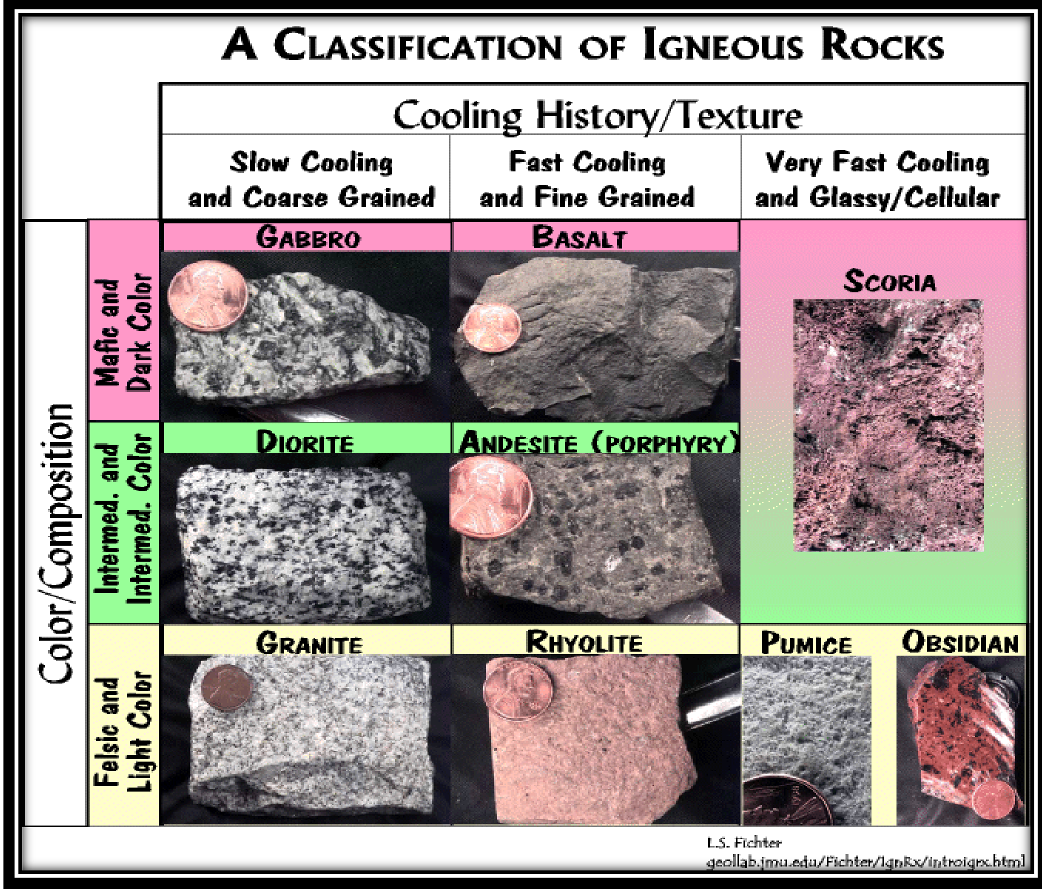


وتصنف الصخور النارية إلى:

١-الصخور الجوفيةPlutonic Rocks

تقسم الصخور النارية الجوفية (خشنة النسيج) إلى صخور قاعدية، وصخور متوسطة، وصخور فلسية. وتضم خمسة عشر نوعاً.


الصخور النارية والسطحية البركانية
البازلت
الريوليت
القشرة الأرضية
نسيج زجاجي
نسيج دقيق
الجرانوديوريت
الصخور النارية
الجوفية البلوتونية
الجرانيت
نسيج خشن
صهارة قاعدية
الى فوق قاعدية
الجابرو
صدع عميق
صخور حامضية
وشاح
ريش الجبة


A Classification of Igneous Rocks
Cooling History/Texture
Slow Cooling and Coarse Grained
Fast Cooling and Fine Grained
Very Fast Cooling and Glassy/Cellular
Color/Composition
Mafic and Dark Color
Intermed. and Intermed. Color
Felsic and Light Color
Gabbro
Basalt
Scoria
Diorite
Andesite (porphyry)
Granite
Rhyolite
Pumice
Obsidian
L.S. Fichter
geollab.jmu.edu/Fichter/IgnRx/introigrx.html

الجدول التالي هو تقسيم بسيط للصخور النارية حسب تكوينهم ونمط حدوثهم .

نمط الحدوث	Felsic	Intermediate	Mafic	Ultramafic
	التكوين			
إندساسية	گرانيت	ديوريت	Gabbro	بريدوتيت
انبثاقية	Rhyolite	Andesite	بازلت	Komatiite

	Felsic	وسيط	Mafic	Ultramafic
	السليكات الأساسية المكونة للصخر			
خشنة الحبيبات	گرانيت	ديوريت	Gabbro	بريدوتيت
متوسطة الحبيبات			Diabase	
دقيقة الحبيبات	Rhyolite	Andesite	بازلت	Komatiite

أ-الصخور الجوفيه الفلسية:

- تكون الصخور الجوفيه الفلسية الجزء الأكبر من القارات وهي اكثر الصخور شيوعا في القشرة القارية.
- يطلق اسم الصخور الجرانيتية granitic rocks أو الجرانيتويدات granitoids على هذه الصخور ويعني هذا الاسم كل الصخور الجوفيه الخشنة او المتوسطة التحبب.
- يكون الكوارتز اكثر من ٢٠% من حجم هذه الصخور وتكون الفلسبارات بنوعيها الجزء الرئيسي منها.
- تقسم الصخور الجوفيه الفلسية إلى نوعيات مختلفة على اساس محتواها المعدني وعلى الأخص النسبة بين نوعي الفلسبار.
- النسيج الشائع في كل الصخور الجرانيتية هو النسيج الجرانيتويدي.
- النسيج الجرانيتويدي هو نسيج ذو حبيبات خشنة أو متوسطة ناقصة الأوجه او عديمة الأوجه hypidiomorphic or alltriomorphic granular حيث توجد الحبيبات متراصة دون نظام معين.



تشيع بعض أنواع الأنسجة الخاصة فى الصخور الجرانيتيه منها مثلا:

النسيج البورفيرى

- يحدث عندما يكون هناك فرق بين حجمين رئيسيين للبلورات في ا لصخر.
- ينقسم الرأي من حيث نشأة هذه البلورات البورفيريه هل كلها بلورات ناريه phenocrysts أو بعضها بلورات تحوليه porphyroblast
- غالبا ما تكون هذه البلورات الكبيرة جدا من الفلسبار البوتاسي.

النسيج الراباكيفى Rapakivi Texture

هو نسيج بورفيري تحاط فيه بلورات الفلسبار البوتاسي بغلاف من البلاجيوكليز الصودي او الألبايت.

النسيج الهيروغليفى Graphic Texture

- هو نمو مشترك بين الكوارتز والأورثوكليز او الميكروكلاين ويوجد في احجام مجهرية او كبيرة تظهر بوضوح في العينات اليدوية.
- يميز هذا النسيج بصفة خاصة الصخور التي تنشأ في المراحل النهائية في التداخلات المافيه الطباقية ويسمى الصخر الجرانيتي الذي يسود فيه هذا النسيج جرانوفير granophyre.

النسيج الميرمكيتى Myrmekitic texture

- هو تلاحم بين الكوارتز البلاجيوكليز حيث يوجد الكواتز في اشكال دودية ممتده داخل حبيبات البلاجيوكليز خاصة عند التصاقها ببلورات الأوثوكليز او الميكروكلاين
- يعتقد ان غالبية هذا النسيج ينشا نتيجه التغيرات التي تحدث بعد التبلور dueteric alterations.

نوعيات الصخور الجرانيتية وتركيبها المعدني

- **تقسم الصخور الجرانيتية بصفة عامة إلى اربعة نوعيات اساسية بناء على تركيبها المعدنى:**

الجرانوديوريت Granodiorite

المونزوجرانيت Monzogranite (ادمالايت Adamelite)

السينوجرانيت Syenogranite (جرانيت Granite)

الجرانيت القلوي Alkali Granite



المونزوجرانيت: Monzogranite

• يحتوي المونزوجرانيت على كل من البلاجيوكليز والفلسبار القلوي بنسبة متساوية تقريبا وفيما عدا ذلك فهو لا يختلف عن الجرانودايورايت.

السينوجرانيت: Syenogranite

• هو اكثر الصخور الجرانيتيه شيوعا.
• تتراوح نسبة السيليكا من ٦٧-٧٤%.
• مؤشره اللوني ١٠ او اقل.
• لا تزيد نسبة البلاجيوكليز عن ثلث مجموع الفلسبارات.
• الفلسبار القلوي قد يكون هو الفلسبار الوحيد في السينوجرانيت وقد يكون بوتاسيا او صوديا ولكن الشائع هو خليط من الإثنين يسود فيه الفلسبار البوتاسي و يظهرعلى هيئة بيرثايت.
• البلاجيوكليز المميز في السينواجرانيت هو الأوليجوكليز.
• الكوارتز يوجد على شكل حبيبات عديمة الأوجه وتحتل الفرغات البينيه بين بلورات الفلسبار ويتميز باحتوائه على مكتنفات كثيرة على هيئه ابريه او على شكل ذرات ترابيه دقيقه جدا.
• المعدن المافي الشائع في السينوجرانيت هو البيوتايت البني ذو التغير الشديد
• يحتوي البيوتايت دائما على مكتنفات دقيقة من المعادن الاضافيه وتحاط بعض المكتنفات بهالات ذات تغير لوني شديد وتسمى هذه الهالات pleochroic haloes ويعزى وجود هذه الهالات إلى النشاط الاشعاعي لبعض المكتنفات مثل الزيركون والسفين.
• الهورنبلند يلي البيوتايت كمعدن مافي في السينوجرانيت خاصة عند زيادة نسبة البلاجيوكليز.
• تتكون المعادن الاضافيه من الزيركون والسفين والابتايت.
• في بعض نوعيات السينوجرانيت يأخذ المسكوفايت محل المعادن المافيه الاخرى مصاحبا للبيوتايت او بدونه.
• يدل ظهرور المسكوفايت على ان الصهار كان فوق مشبعا بالألمونيا خاصة اذا صاحب المسكوفايت بعض المعادن الالمونية الأخرى مثل الجارنت garnet (الماندين أو سبسارتايت).

• قد تكون صفة فوق التشبع بالألمونيا صفة اساسية في الصهار الجرانيتي او يكتسبه الصهار نتيجة هضمه لبعض الصخور الالمونية خاصة الطفال shale.
• تنعكس ظروف الضغط والحرارة التي يتبلور عندها الصهير الجرانيتي في نوعية الفلسبارات التي توجد فيه ومن هذه الناحية يمكن تمييز الجرانيت إلى نوعيتين:
هايبرسولفس جرانيت hypersolvus granite
سب سولفس جرانيت subsolvus granite

هايبرسولفس جرانيت:

الجرانيت الذي يتكون فوق منحنى اللفظ أي في ظروف من الضغط المائي ودرجة الحرارة التي تسمح بالامتزاج الكامل بين الفلسبارين القلويين (الاورثوكليز و الألبايت) فتتكون بلورات الفلسبار على هيئة فلسبار واحد وبعد اكتما ل التبلور وانخفاض درجة الحرارة حتى تصل إلى ما تحت منحنى اللفظ ينفصل الفلسبارين عن بعضهما البعض لكنهما لا يستطيعان تكوين بلورتين منفصلتين فيلفظ احدهما الآخر وينشأ البيرثايت (أو الأنتي بيرثايت) ويحتوي مثل هذا الجرانيت على فلسبار واحدهو البيرثايت. ويسمى أيضا جرانيت احادي الفلسبار.

سب سولفس جرانيت:

الجرانيت الذي يتكون تحت منحنى اللفظ subsolvus granite ويسمى ايضا جرانيت ثنائي الفلسبار احدهما قلوي والآخر بلاجيوكليز على هيئة بلورات منفصلة لكل منهما.

ان زيادة ضغط الماء له تأثير كبير على خفض درجة حرارة انصهار الفلسبارت وزيادة سيولة الصهير الجرانيتي. يكون الجرانيت المتكون بالقرب من السطح احادي الفلسبار لأنه تكون تحت ضغط مائي منخفض ودرجة حرارة عالية والعكس بالنسبة للجرانيت المتكون في اعماق سحيقة.

الجرانيت القلوى وفوق القلوى:

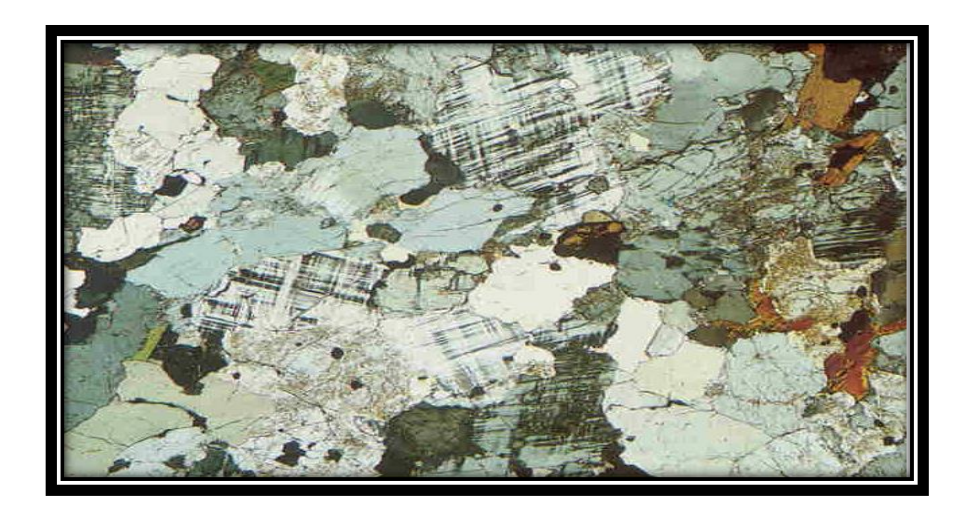
اهم ما يميز هذا الجرانيت هو ان معادنه المافيه هي الايجيرين و الريبيكات كما يتميز باحتوائه على كمية كبيرة من الفلسبار القلوي.



الغرانيت: تتكون من الكوارتز(الرمادي)، بلاجيوجلاز الفلسبار (أبيض) والفلسبار القلوي (البيج) ، بالإضافة إلى المعادن مثل ميكا سوداء مظلمة والهورنبلند .



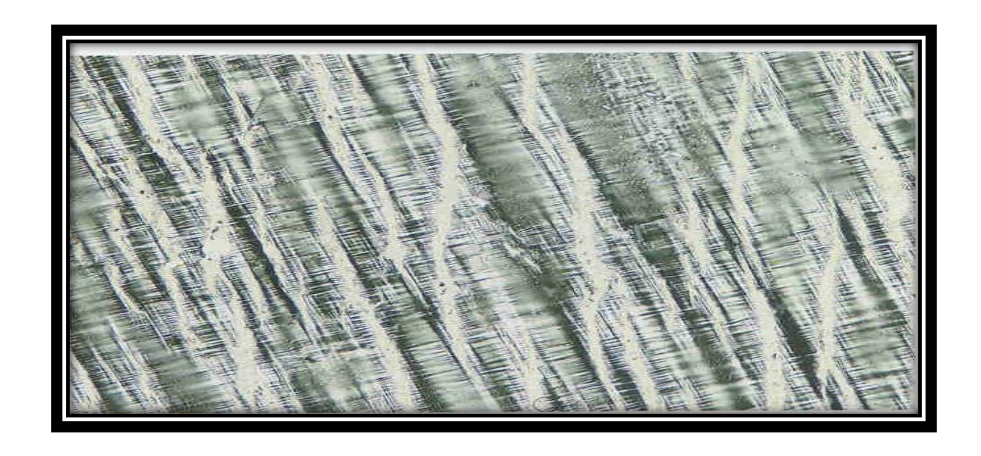
Holocrystalline granite



Granular granite Granite



Antiperthitic texture in tonalitic gneiss



Granite Microperthitic textures



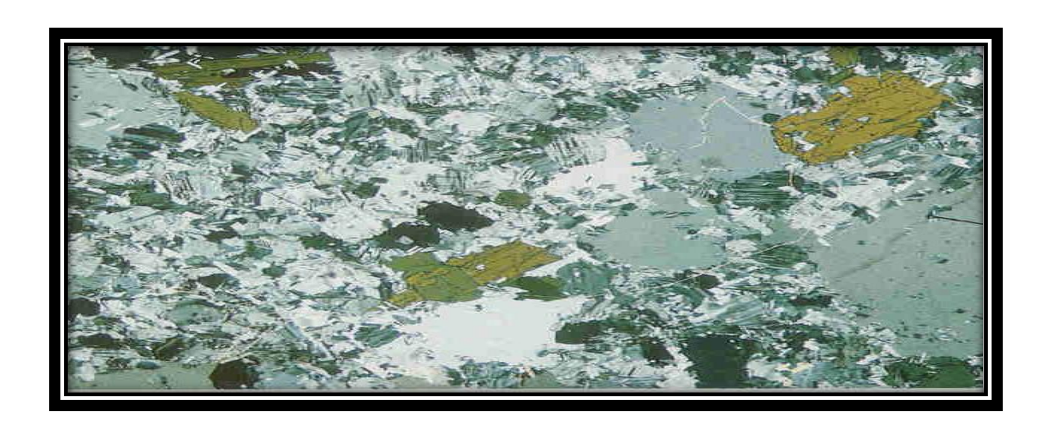
Zoned plagioclase



Rapikivi texture



Myrmekitic texture in granite



Alkali granite



Monzonite

الجرانودايورايتGranodiorite

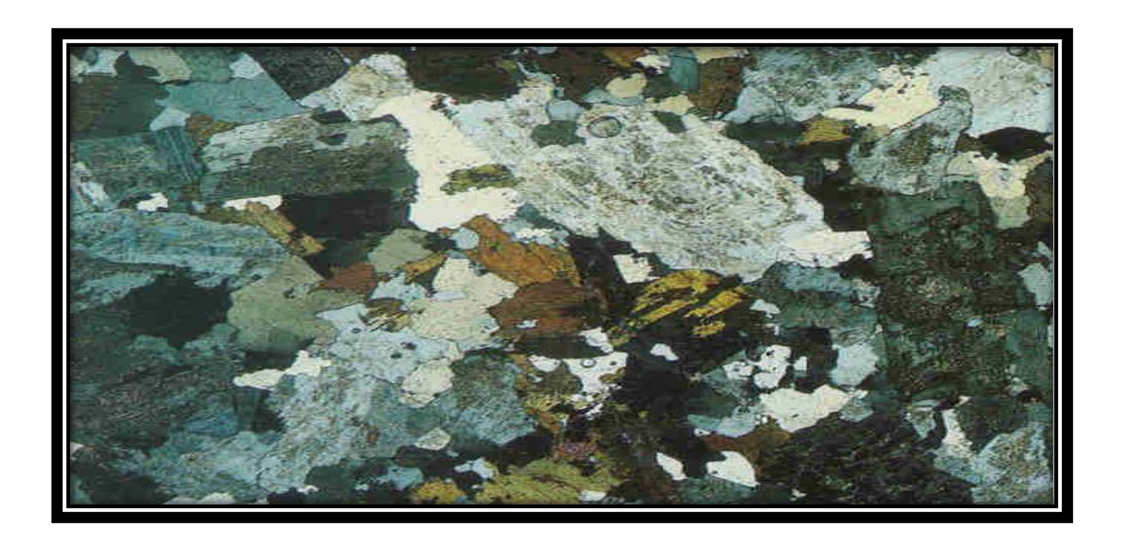
يسمى الصخر الناري الجوفي جرانودايورايت إذا كانت نسبة معدن المرو فيه ما بين ٢٠ و٦٠%؛ وتشكل معادن البلاجوكليز ٦٥٩٠% من معادن الفلسبارات .وهو صخر حمضي لاحتوائه على نسبة كبيرة من السليكا.

- الفلسبار الرئيسي في الجرانودايورايت هو البلاجيوكليز الصودي (أوليجيوكليز إلى انديزين) ولكنه كثيرا ما يكون متمنطقا وأحيانا يحاط بغلاف من الفلسبار البوتاسي.
- الفلسبار البوتاسي هو إما أورثوكليز أو ميكروكلين بيرثايت وينحصر وجوده في المساحات البينية بين بلورات البلاجيوكليز التي عادة ما تكون احجامها اكبر من احجام حبيبات الفلسبار البوتاسي .
- المعدن المافي الرئيسي والمميز في الجرانودايورايت هو الهورنبلند ويليه البيوتايت ولكن بكميات قليلة.
- المعادن الاضافية المميزة هي الابتايت والسفين وبعض المعادن المعتمه.
- يكون الجرانودايورايت حوالي ٢٢% من مجموع الصخور الجوفيه المكشوفه في الدرع العربي ومن أمثلته ما يوجد في جبل الهدا في منطقة الطائف.
- هناك تدرج تام بين الجرانودايورايت والدايورايت وقد تم تعريف صخر متوسط بين الإثنين هو التونالايت tonalite الذي لا يحتوي تقريبا على الفلسبار البوتاسي.

• الترونجيمايت trondjemite هو شبيه بالتونالايت ولكنه يخلو تقريبا من المعادن المافيه ويصبح مكونا كليه من بلاجيوكليز (اوليجوكليز) وكوارتز.



جرنوديوريت :وهو صخر جوفي يتألف من البيوتايت السوداء ذات اللون الرمادي الداكن ، والبلاجيوجلاز باللون الأبيض والكوارتز الرمادي . وهو يختلف عن الديوريت بوجود الكوارتز .



Granodiorite

التونالايت Tonalite

إذا زادت نسبة معادن البلاجوكليز على ٩٠% من معادن الفلسبارات؛ وكان محتوى الصخر الناري الجوفي من معدن المرو ما بين ٢٠ و٦٠% ؛ فإن الصخر يسمى تونالايت. ويدرج مع الصخور الحمضية لارتفاع نسبة السليكا فيه.

البجماتيت Pegmatite:

على الرغم من صخور البجماتيت تتواجد بصحبة جميع الصخور الجوفية تقريبا إلا أنها دائما ما تصاحب الجرانيت والجرانوديوريت ، وهى صخور خشنة جدا حتى أنه توجد أضخم وأجمل

البلورات داخل عروق البجماتيت ويرجع ذلك إلى انخفاض درجة لزوجة الصهير وتركيز المكونات التى تتبلور منها معادن البجماتيت ، والمحتوى المعدنى للبجماتيت يماثل نفس المحتوى لدى الجرانيت وكثيرا ماتحتوى عروق البجماتيت على بلورات البيريل Beryl والتورمالين Tourmaline والزيركون Zircon وغيرها من المعادن ذات القيمة الاقتصادية .



بيغماتيت : هو من أنواع الغرانيت وهو صخر جوفي ذو بلورات كبيرة بشكل استثنائي وهو يشكل مرحلة متأخره من تصلب الجرانيت .وهو يحمل بلورات سميكه متشابكه طولها ٣ سم أو أكثر ، معظمها يتألف من الكوارتز والفلسبار .وهذه الصوره أخذت من صخر جلمودي بالقرب من دنفر في ولاية كولورادوا.

ب- الصخور المتوسطة الجوفية والغورية

يقصد بالصخور المتوسطة تلك التي تركيبها الكيماوي ليست حمضياً (غني بالسليكا) ولا مافياً ولا قاعدياً (غني بالماغنسيوم والحديد).

الديورايت Diorite

• الديورايت هو اكثر الصخور المتوسطة انتشارا حيث يوجد على هيئة اجسام جوفيه ضخمة ضمن البثوليثات الجرانيتية المركبة أو على هيئة سحنات حدودية border facies لمثل هذه الأجسام.

• **هناك عدة طرق لنشأة الديورايت:**

١. بالتمايز الصهاري magmatic differentiation للصهارات الجرانيتية والمتوسطة.

٢. بالتهجين الصهاري magmatic hybridization بين الصهارات الجرانيتية والصهارات المافية.

٣. بالتمثل الصهاري magmatic assimilation للصخور المحيطة بواسطة الصهارات الجرانيتية.

• المؤشر اللوني للديورايت غالبا اقل من ٤٠% لكنه أحيانا يزيد عن ذلك في الصخور المتدرجة إلى الجابرو.

• يتكون الديورايت من البلاجيوكليز والهورنبلند اساسا بالإضافة إلى كميات قليلة من الفلسبار القلوي الكوارتز والبيروكسين والبيوتايت.

• تركيب البلاجيوكليز يتراوح من الإنديزين إلى الأوليجوكليز ويتميز باحتوائه على كثير من

المكتنفات الدقيقة من المعادن المافيه او المعادن الإضافيه كما يتميز البلاجيوكليز ايضا بالتمنطق الواضح.

- يشكل الهورنبلند المعدن المافي الرئيسي في الديورايت ويوجد على عدة اشكال منها الشكل الاسفنجي نتيجة احتوائه علىكثير من المكتنفات من المعادن الأخرى او على هيئة منشورات غليظة وقصيرة او منشورات ذات استطالة كبيرة.
- البيروكسين الذي يوجد في الديورايت هو الهيبرثين أو الأوجيت او الإثنين معاً ويشيع وجود اطراف تفاعليه من الهورنبلند حولها.
- البيوتايت هو غالباً من النوعية البنية التي يشيع فيها التغيير إلى كلورايت وكتل من حبيبات السفين الدقيقة.
- الفلسبار البوتاسي الشائع في الديورايت هو الأورثوكليز الذي يوجد في الفراغات او على هيئة اغلفة حول البلاجيوكليز.



<u>الديوريت</u>: وهو صخر جوفي يجمع ما بين صفات الغرانيت والغابرو، وهو يتألف من فلسبار بلاجيوكاز أبيض و هورنبلند أسود . وعلى عكس الجرانيت صخرة الديوريت تحوي القليل من الكوارتز ، واذا خرجت من البركان فانها تتبرد إلى أندسيت لافا.

Diorite



<u>الدايورايت المروي Quartz Diorite</u>

يسمى الصخر الناري الجوفي دايورايت مَرَوي، إذا كانت نسبة معدن المرو فيه تراوح بين ٥ و٢٠% ؛ وتشكل معادن البلاجوكليز أكثر من90% ، من معادن الفلسبارات.

المونزودايورايت المروي Quartz Monzodiorite

إذا راوحت نسبة معدن المرو في الصخر الناري الجوفي بين ٥ و٢٠% ؛ ونسبة معادن البلاجوكليز فيه بين ٦٥ و٩٠% من معادن الفلسبارات فإن الصخر يعطى اسم المونزودايورايت المروي.

المونزونايت المروي Quartz Monzonite

تشكل معادن البلاجوكليز ما نسبته ٣٥٦٥% من معادن الفلسبارات في صخر المنزونايت المروي وتكون نسبة معدن المرو فيه بين ٥ و٢٠.%.

المونزونايت Monzonite

- يحتل المونزونايت وضعا متوسطا بين الديورايت والسيانيت.
- يتواجد غالباً على هيئة سحنات حدودية للتداخلات الجرانيتية.
- يتكون المونزونايت من بلاجيوكليز متوسط او صودي وفلسبار بوتاسي بنسب متساوية تقريبا ويشكلان معا حوالي ٧٠-٨٠% تقريبا من حجم الصخر والباقي يتكون من المعادن المافيه والمعادن الإضافية.
- المعادن المافية الشائعة هي الهورنبلند والبيوتايت .
- النسيج الشائع هو النسيج الحبيبي الخشن.



كوارتز مونزونيت : وهو صخر جوفي مثل الجرانيت والكوارتز ويتألف من نوعين من الفلسبار ولكن كميته أقل مما هي عليه في الجرانيت والكوارتز هذه الصوره من صحراء موهافي في كاليفورنيا ، اللون الوردي هو فلسبار معدني قلوي والأبيض الحليبي هو بلاجيوجلاز فلسبار والرمادي المعدني هو كوارتز زجاجي.

السيانايت Syenite

- السيانايت اكثر انتشارا من المنزونايت ويغلب على تركيبه المعادن الفلسية.
- يتكون السيانايت أساسا من الفلسبار القلوي الذي تكون نسبته في حدود ٨٠% من حجم الصخر.
- السيانايت الشائع إما ان يكون فوق مشبع قليلا فيحتوي على قليل من الكوارتز أو تحت مشبع قليلا فيحتوي على قليل من أحد الفلسباثويدات.
- الفلسبار السائد في السيانايت إما أن يكون اورثوكليز أو ميكروكلاين وفي هذه الحالة يسمى

السيانايت البوتاسي او يكون الفلسبار السائد هو الألبايت حينئذ يسمى الصخر سيانايت صودي.

- المعادن المافيه الشائعة هي الهورنبلند والبيوتايت واحيانا البيروكسين.
- المعادن الإضافية الغالبة هي الزيركون والسفين والأباتيت والفلورايت والألمنيت.

السياناايت المروي Syenite

في هذا النوع من الصخور النارية الجوفية تكون نسبة معدن المرو ٥٢٠% ، وتشكل الفلسبارات القاعدية ٦٥٩٠% من مجمل معادن الفلسبارات.

السياناايت القاعدي المروي Alkali-Quartz Syenite

وهو الصخر الناري الجوفي الذي تزيد فيه نسبة الفلسبارات القاعدية على ٩٠% من مجمل الفلسبارات وتراوح نسبة معدن المرو فيه بين ٥ و٢٠%.



سيانيت Syenite : هو صخر جوفي يتكون أساسا من الفلسبار البوتاسيوم مع وجود قدر أدنى من مستويات بلاجيوجلاز الفلسبار والكوارتز ، ويحتوي على كمية كبيره من الكريستال ، سمي بالسيانيت.



Syenite



Nepheline syenite

ج- الصخور المافية (القاعدية)Mafic Rocks :

الصخور المافية هي تلك التي ترتفع فيها نسبة المعادن المحتوية على عناصر مافية مثل الحديد والماغنسيوم. ولأن المعادن المافية تكون درجة انصهارها عالية فإن هذه الصخور تتبلور من الصهير أولاً قبل أن يفقد الكثير من عنصري الماغنسيوم والحديد.

نوعيات الصخور الجابروية:

- تقسم الصخور الجابروية وتسمى على اساس معادنها الرئيسية و الإضافيه.
- **هناك نوعيتان من الصخور الجابروية :**

الصخور الجابروية العادية

الصخور الجابرويه القلوية

- الصخور الجابروية العادية وهي اكثر انواع الجابرو شيوعا وتتكون من معادن البلاجيوكليز + البيروكسين + الأليفين.
- الصخور الجابرويه القلوية وهي الصخور التي تدخل في تركيبها معادن الأورثوكليز او الميكروكلين مصاحبا للبلاجيوكليز بالإضافة إلى نسب مختلفة من الفلسباثويدات.

الصخور الجابرويه العادية:

الجابرو العاديGabbro

- هو أكثر الصخور الجابرويه شيوعا
- يتكون هذا الصخر من كميات متساوية من البلاجيوكليز والأوجيت في نسيج خشن مع المعادن الإضافيه.
- البلاجيوكليز تركيبه يتراوح من اللابرادورايتlabradorite إلى البايتونايتbytownite وقد يكون متمنطقا أو غير متمنطق .
- الأوجيت يوجد على شكل شبه مكتمل أو غير مكتمل الأوجه وذو أبعاد متساويه تقريبا او على هيئة حبيبات بينية بين حبيبات البلاجيوكليز وقد يحتوي على رقائق نحيفة ملفوظة من البيروكسين المعيني .

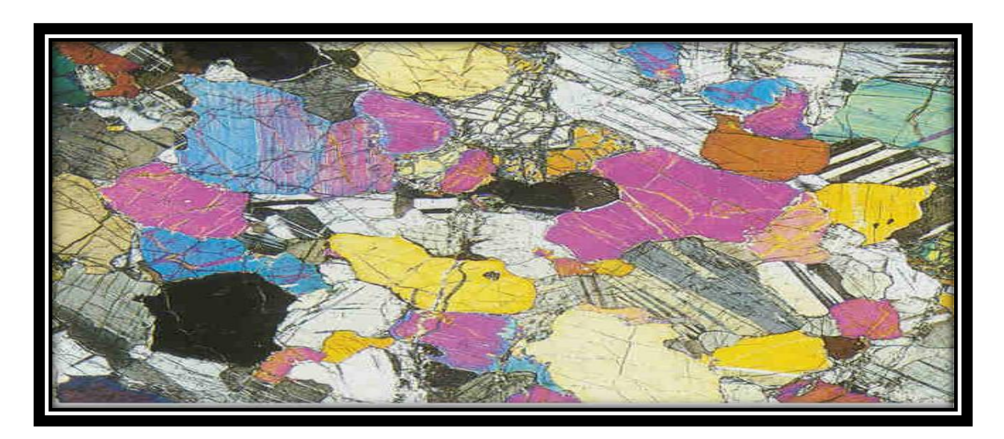
• البيوتايت قد يوجد بكميات ضئيلة على هيئة اطراف تفاعليه حول اكاسيد الحديد او على هيئة حبيبات بينية .



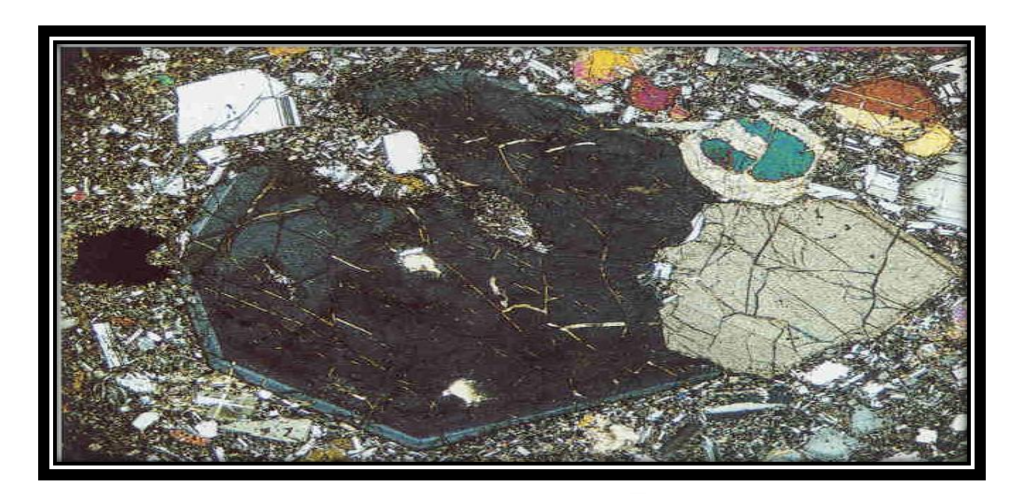
<u>الغابرو</u>:هو من الصخور الناريه الجوفيه الداكنة ، وهو يشابه البازلت الجوفي ، تنخفض فيه السيلكا ولا يحتوي على كوارتز و اللون القاتم منه يمثل على بلاجيوكاز مخلوط مع نسبه عاليه من الكالسيوم. وهذا النوع من الغابرو يحتوي معادن الهارنبلند وماغنتيت واللون الفاتح منه هو عباره عن بلاجيوكاز.



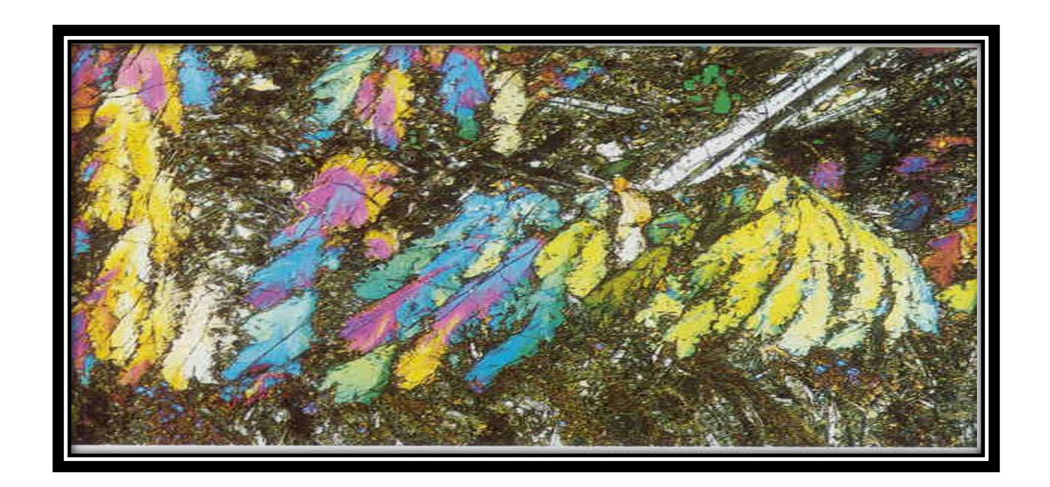
Holocrystalline anorthositic gabbro



Gabbro



Embayment in augite phenocryst



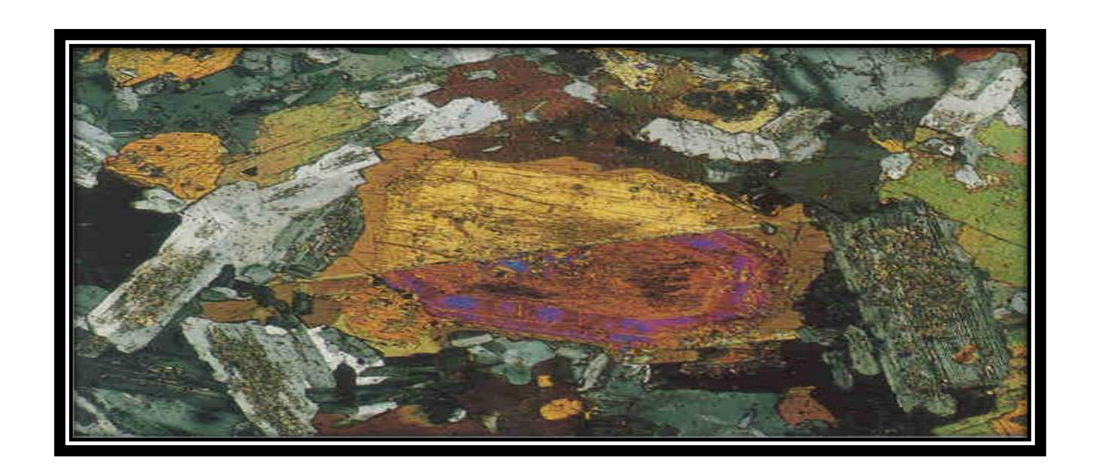
Curved branching augite



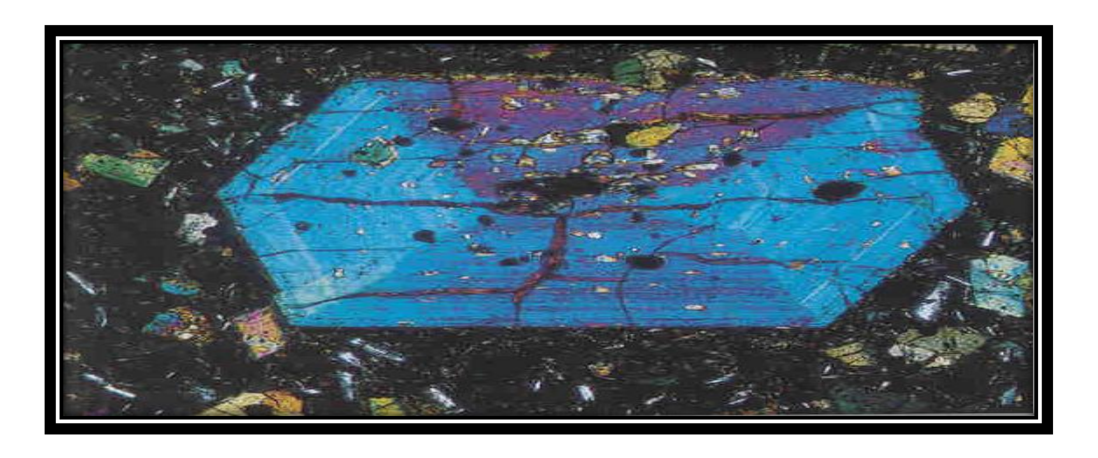
Poikilitic enclosure of olivine crystals by augite



Olivine gabbro containing poikilitic domains



Corona texture



-zoned augite

النورايت Norite:

- يختلف النورايت عن الجابرو العادي بوجود البيروكسين المعيني OPX بدلا من الأوجيتCPX وقد يكون مصاحبا له وهذا يدل على وجود تدرج تام بين الجابرو العادي والنورايت.
- عندما يتساوى نوعي البيروكسين فيمكن استخدام تعبيري الجابرو النوريتي noritic gabbro أو النورايت الجابروي gabbro norite.
- البيروكسين المعينيOPX في النورايت هو الهيبرثين او البرونزايت.

الاليفين جابروOlivine Gabbro والاليفين نورايت Olivine Norite

عندما تزيد نسبة الاليفين في كل من الجابرو والنورايت عن ١٠% فانهما يسميان أليفين جابرو أو أليفين نورايت وغالباً ما تكون حبيبات الاليفين ناقصة الأوجه ومحصورة داخل حبيبات البيروكسين الخشنة.

التروكتوليت Troctolite:

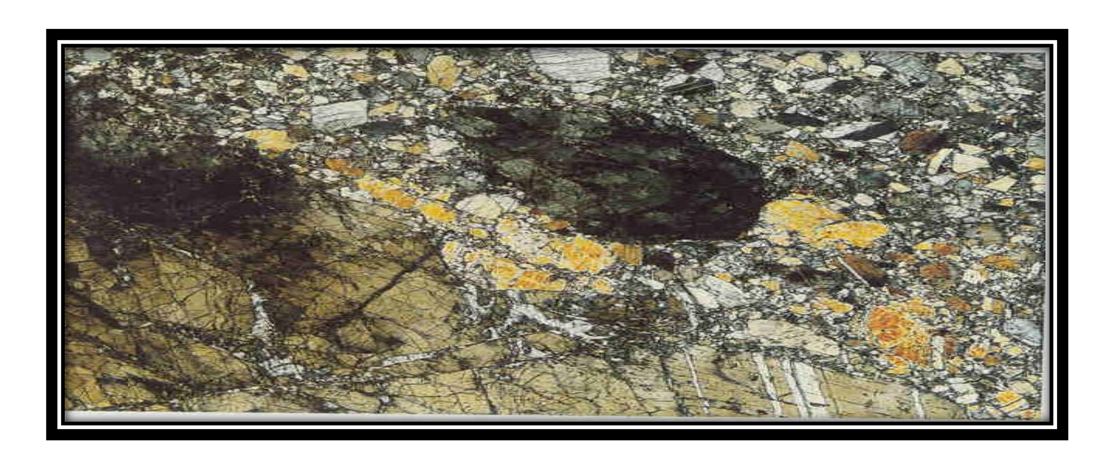
- عندما تزداد نسبة الأليفين زيادة كبيرة بحيث يصبح هو المعدن المافي الرئيسي مع البلاجيوكليز يسمى الصخر تروكتوليت.
- يشيع في التروكتوليت نسيج الكرونا حول الأليفين .

الأنورثوزيت Anorthosite:

- عندما تزيد نسبة البلاجيوكليز في الصخور الجابروية حتى تصل إلى ٩٠% أو أكثر يطلق على الصخر اسم انورثوزيت.
- يوجد الأنورثوزيت على هيئة طباقات متبادله مع الصخور الجابرويه الأخرى في التداخلات الطباقيه او على هيئة اجسام جوفيه هائلة الحجم .
- يشيع نسيج التطبق الناري في صخور الأنورثوزيت المصاحبة للتداخلات الطباقية .



أنورثوسيت: وهو صخر جوفي غير مألوف ، يتكون معظمه من فلسبار بلاجيوكاز ، هذه الصخره من جبال أديونداك في نيويوورك.



Anorthosite

الصخور الجابروية القلوية:

سيانوجابرو Syenogabbro:

صخر انتقالي بين الصخور الجابروية العادية والصخور الجابروية القلوية ويحتوي على الأرثوكليز بنسبة تزيد عن ٥% ولكنه لا يحتوي على الفلسباثويدات.

اسيكسايت Essexite:

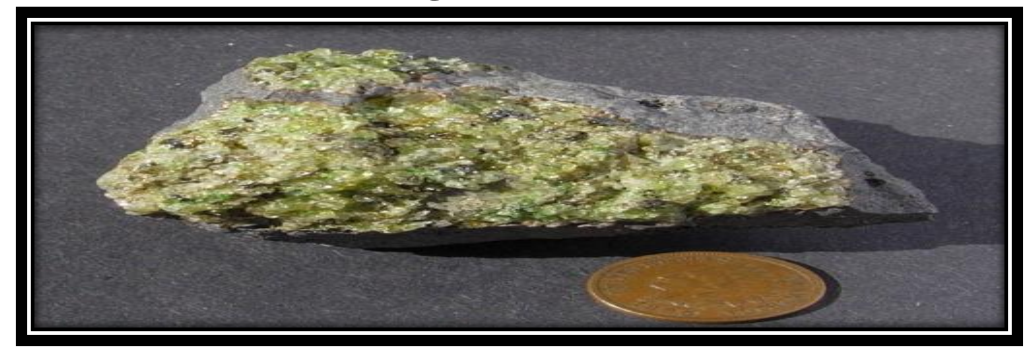
يحتوي على حوالي ٢٠% اورثوكليز و ٢٠% نيفيلين بالإضافة إلى البلاجيوكليز والمعادن المافية الإضافية

د - **صخور نارية فوق قاعدية Ultrabasic** وتصل نسبة السيليكا فيها إلى أقل من ٤٠٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخور الدونيت Dunite والبريدوتيت. Peridotite .

أنواع الصخور فوق المافيه

الديونايت Dunite:

- يطلق هذا الاسم على الصخور التي تتكون كليا من الاليفين .
- معظم الاليفين في الدونايت غني بالمجنيسيا (Fo>٨٨).
- يظهر الديونايت نسيجا تراكميا دالا بذلك على طريقة تكون هذا الصخر.
- يكون هذا الصخر دائما متغير بدرجات متفاوته إلى سربنتين.



الدونيت : هو من الصخور النادرة ويعرف باسم البريدوتيت ، يحتوي على ٩٠ % من الزبرجد الزيتوني وسمي بالدونيت نسبة إلى جبال Due في نيوزيلاندا.

البيرودوتايت Peridotite:

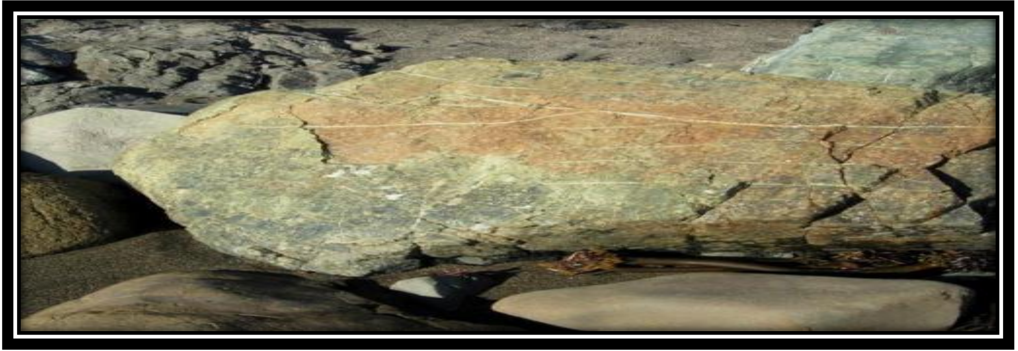
• يطلق هذا الاسم على الصخور فوق المافيه التي تتكون من الاليفين والبيروكسين كمعادن اساسية . ويمكن تخصيص الاسم حسب نوع البيروكسين ونسبته مثلا:

هارزبرجايت harzburgite (مكون من olivine+opx)

ليرزولايت lherzolite (مكون من opx+cpx+ol بكميات متساوية)

ويرلايت wherlite (مكون من olivine + cpx)





البريدوتيت : وهو صخر جوفي يتواجد في نهاية طبقة القشره وبالقرب من طبقة الغطاء ، يعرف أيضا بالزبرجد الزيتوني، ويحتوي البريدوتيت على كمية كبيره من الحديد والمغنسيوم وعلى القليل من السيليكون ، يعتبر من الصخور القاتمة وذلك لما يحويه من معادن تؤدي إلى هذه العتمة في لونه.



Peridotite

الكمبرليت Kimberlite:

• صخور فوق مافيه عنية بالمغنيسيوم والبوتاسيوم ويعتبرها البعض نوع من أنواع البريدوتيت الغني بالمايكا.
• ينحصر وجود الكمبرليت في الرواسخ القاريه القديمة .
• تتكون معظم صخور الكمبرليت من البريشيا التي تملأ الأنابيب (أنابيب الألماس في جنوب افريقيا) .
• تنشأ أصهرة الكمبرليت في أعماق سحيقة جدا (١٥٠-٣٠٠كم) وتصل إلى السطح بسرعة فائقة بفعل الانفجارات.
• غالبا ما تحتوي هذه الأصهرة على مكتنفات تندفع إلى السطح مع هذه الأصهرة من المستويات المختلفة التي مرت عليها هذه الأصهره .
• **يتكون الكمبرليت من المعادن التاليه:**

أوليفين مغنيسي Mg-Olivine
فلوغوبيت phlogopite
ديوبسيد كرومي Cr-Diopside
انستيت Enstatite
جارنت مغنيسي (وردي اللون) Mg- Garnet
إلمنايت مغنيسي Mg-Ilmanite

كل هذه المكونات توجد في أرضية من الأوليفين المتحلل إلى سربنتين وكالسيت.

السربنتينايت Serpentinite:

• يتكون هذا الصخر كليا من معادن السربنتين الناتجة عن تغيير المعادن الأساسية في الصخور فوق المافيه.





الكوموتيت: وهو من الصخور الناريه القديمه والنادرة ، وهو مشابه للبردوتيت، ولكنه يحتوي كميات كبيره من الزبرجد الزيتوني ولكنه عميق الجذوز وذو حبيبات خشنه تظهر بأنها اندلعت من حراره عاليه ، وفقط

درجات الحراره العاليه هي التي تذيب هذا النوع من الصخر مما يشير إلى أن حرارة المانتل كانت أكثر سخونه منذ ٣ مليارات سنه مما هي عليه اليوم . كما أن هذا الصخر غني بالمغنسيوم وقليل السيلكا . وسمي بذلك نسبة إلى نهر كوماتي في جنوب أفريقيا.



البيروكسونيت: وهو صخر جوفي ، يتكون من المعادن الداكنة في مجموعة البيروكسين وهي المجموعه التي تتألف من الحجاره الداكنه والزبرجد الزيتوني بالإضافه إلى قليل من معدن الأمفيبول ، تنشأ مل هذه الصخور في قاع البحر العميق أسفل البازلت الذي يشكل القشرة المحيطيه العليا

2- الصخور السطحية (البركانية):

الصخور النارية البركانية صخور ناعمة النسيج ناجمة عن سرعة برودة الصهير على سطح الأرض ما عجل باصطدام بلورات المعادن والبلورات الأخرى فأوقف أولاهما عن النمو فبقيت حجومها صغيرة. وتقسم الصخور البركانية إلى صخور قاعدية (مافية) وصخور متوسطة وصخور حمضية وذلك حسب نسبة العناصر المافية (الحديد والماغنسيوم) والسليكا فيها.

وكل نوع يضم مجموعة من الصخور :
أ- الصخور (الفلسية) الحمضية البركانية :

تقسم الصخور النارية البركانية الحمضية إلى ستة أنواع رئيسية، تبعاً لنسبة معدن المرو ونوع معادن الفلسبار ونسبتها فيها.

- تشمل هذه الصخور ثلاث نوعيات كلسقلوية هي الداسايت والريوداسايت والريولايت ونوعية واحده قلوية هي الريولايت القلوي.
- يصعب تصنيف هذه الصخور بدقة بسبب التحبب الدقيق جدا دون الرجوع إلى تركيبها الكيميائي.
- يشيع النسيج البورفيري في هذه الصخور.
- تتكون البلورات البورفيريه من كل المعادن الاساسية. وهي : الكوارتز (أكثر من ٢٠%) والفلسبارت (البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي) والمعادن المافيه.
- يوجد الكوارتز على هيئة بلورات بورفيريه وكثيرا ما تكون متآكلة من أحد جوانبها أو محتويه على مكتنفات كثيرة من الزجاج الصخري.

• فيما يلي بعض أنواع الصخور البركانية الفلسية الشائعة:

الداسايت Dacite

• الفلسبار السائد في الداسايت هو البلاجيوكليز الصودي او المتوسط وتبلغ نسبته اكثر من ضعفي الفلسبار القلوي (أكثر من ثلثي حجم مجموع الغلسبارات).
• يوجد البلاجيوكليز على هيئة بلورات بورفيريه (غالبا ما تكون متمنطقه) وكذلك في الأرضية.
• المعادن المافيه هي إما بيوتايت او هورنبلند وهيبرثين و أوجايت لكن المعادن المافية لا تزيد عموما في مجموعها عن ١٠%.

الريولايت Rhyolite

• الفلسبار السائد في الريولايت هو الفلسبار البوتاسي وإن وجد البلاجيوكليز فلن تزيد نسبته عن نصف نسبة الفلسبار البوتاسي.
• توجد الفلسبارات على هيئة بلورات بورفيريه كما توجد في الأرضية.
• المعادن المافيه هي البيوتايت والهورنبلند وأحيانا يوجد بعض من الهيبرثين و الأوجيت.
• يحتوي الريولايت عموما على نسبة من الزجاج الصخري أكثر من الداسيت.
• تشيع في الريوليت كل خصائص الزجاج الصخري وخاصة التشققات المحاريه.
• من نوعيات الريولايت المشهوره ما يسمى الريولايت الشرائطي banded rhyolite حيث يكون الريولايت دقيق الحبيبات جدا ويتخذ مظهرا شرائطيا.



ريولايت: توجد فيه سلكيا الحمم عاليه ، كما أنه من حيث التركيب الكيميائي يشبه الجرانيت ولكن الجرانيت صخر جوفي والريولايت صخر سطحي.



Spherulite in rhyolite

والرايولايت Rhyolite هو المكافىء البركانى للجرانيت ويوجد على هيئة حمم ذات نسيج زجاجى أو مستترة التبلور وهناك ثلاثة أسماء أخرى هى أنواع من مكافئات الجرانيت تختلف فيما بينها فى النسيج وهى الاوبسيديان Obsedian والبتشستون Petchstone والبيومس (حجر الخفافPumice. فالاوبسيديان عبارة عن زجاج طبيعى غالبا ما يكون أسود اللون ويتميز بمكسره المحارى الواضح ، أما البتشستون فيحتوى على نسبة أقل من الزجاج وقد يوجد فيه بلورات ظاهرة بينما يتميز البيومس (حجر الخفاف) بخفة وزنة الناتج عن كثرة المسام .

الزجاج الصخرى الفلسي:

- ينشأ هذا الزجاج نتيجة التبريد السريع للصهارات الفلسية
- **يطلق على الزجاج الصخري تسميات تعبر اساسا عن نسيجه. ومنها ما يلي:**

ابسيديان Obsidian:

يتكون الابسيديان كلية أو في معظمه من زجاج فلسي مدموك ذو لون اسود وبريق زجاجي وتشقق محاري. يعزي البريق الزجاجي إلى عدم احتواء الأبسيديان على الماء الا بنسبة ضئيلة.



أوبسيديان : هي حمم بركانيه تتبرد بدون تشكيل بلورات وتعطي شكل زجاجي.



الزجاج الاسفلتى Pitchstone:
هذا الزجاج له نفس خصائص الابسيديان فيما عدا البريق الذي يكون هنا شمعيا أو صمغيا وذلك نتيجة احتوائه على نسبة من الماء أكثر من الأبسيديان قد تصل إلى حوالي ١٠%.

النشق Pumice:
زجاج صخري اسفنجي يحتوي على فجوات كثيرة تنشأ نتيجة تصاعد الغازات وغليان المواد المتطايرة اثنا تجمد اللابا في الظروف السطحية.



pumica: هي ما يعرف بزبد الحمم ، وهي صخر سطحي متجمد من الغازات الذائبة ، يبدو أنه صلب و لكنه غالبا ما يطفو على الماء . هذه الصخره من هضبة أوكلاند في ولاية كاليفورنيا ، وهي خفيفة الوزن وصغيرة المسام يسهل طحنها وتستخدم كمحسن للتربة .

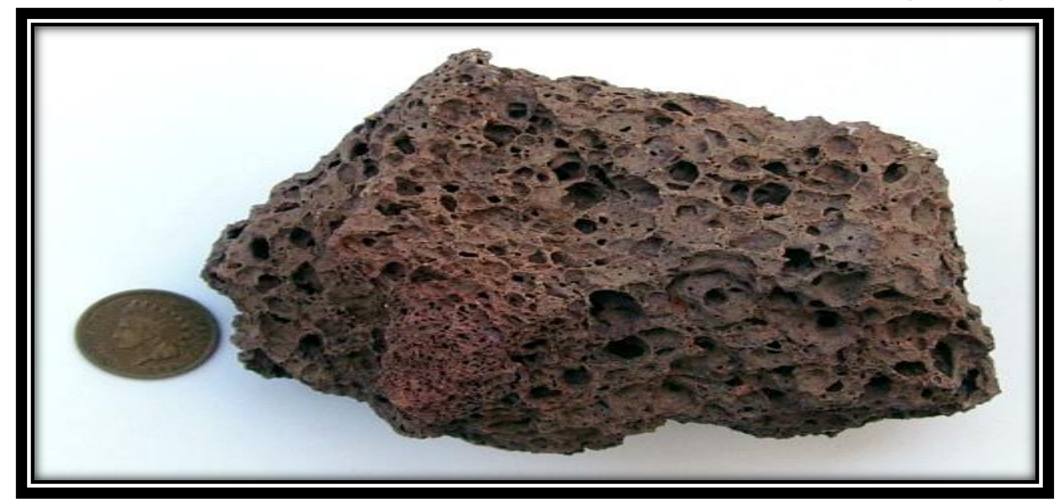
الزجاج المحاري (بيرلايت) Perlite:
أثناء تبريد الأبسيديان أو الزجاج الأسفلتي تحدث بهما تشققات محاريه دائرية أو شبه دائرية فإذا كانت هذه التشققات شائعة في الزجاج فيطلق عليه اسم البيرلايت.



فيلسايت : هو الاسم العام من الصخور البركانية الفاتحة اللون وعادة ما يتألف من معادن الكوارتز والفلسبار بلاجيوجلاز والفلسبار القلوي.طبعا الصخر هو ذو اللون الأبيض وحاول أن تركز عليه بتجاهل شكل الشجره الموجوده عليه.



الحجر السماقي : هو الاسم المستخدم للصخور البركانيه ذات حبيبات كبيرة وواضحة والجزء الفاتح منه دليل على فلسبار قلوي والمظلم هو ميكا سوداء ، يتميز بأنه ذو ملمس تاعم وبراق مثل قماش الساتان .



<u>scoria:</u> مخلفات المعدن المصهور وتسمى أيضا بالرماد البركاني أو حمم الصخره ، خفيفة الوزن لا تطفو فوق الماء وهي صخور سطحية ، لها فقاعات غازيو وقاتمة اللون.



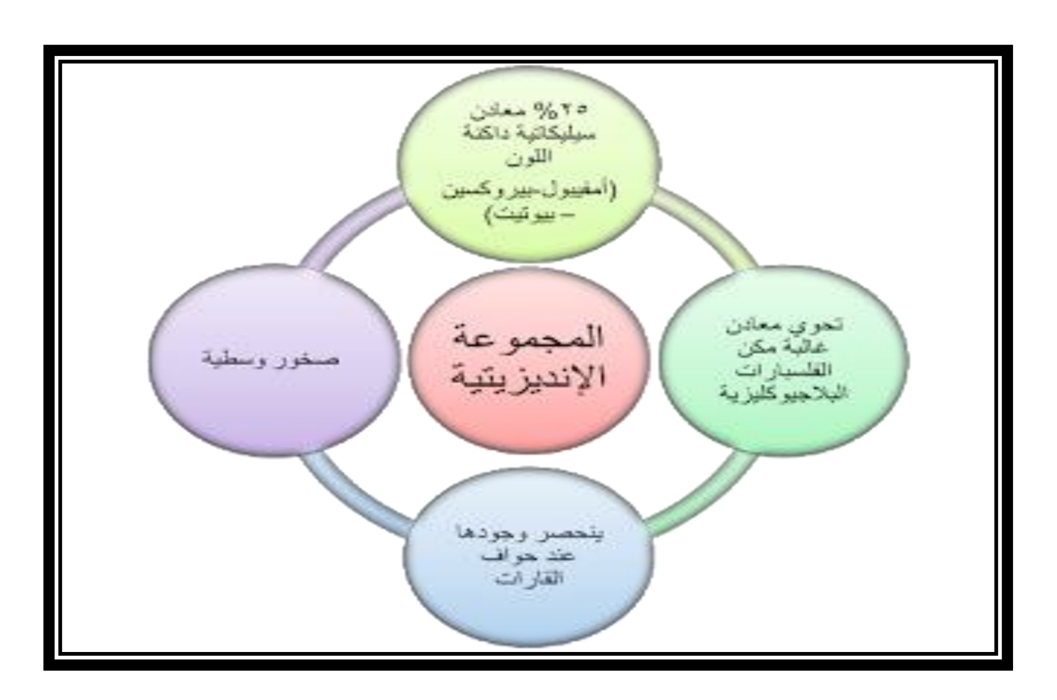
<u>الطف</u> : هو من الصخور الرسوبية التي تكونت من التراكم البركاني وله استخدامات في البناء .

ب- الصخور البركانية المتوسطة:

يطلق على الصخور النارية البركانية التي تراوح نسبة معدن المرو فيها بين ٥ و٢٠% اسم الصخور المتوسطة إذ إن تركيبها المعدني والعنصري متوسط بين الصخور الحمضية والصخور القاعدية .

الأنديزايت Andesite

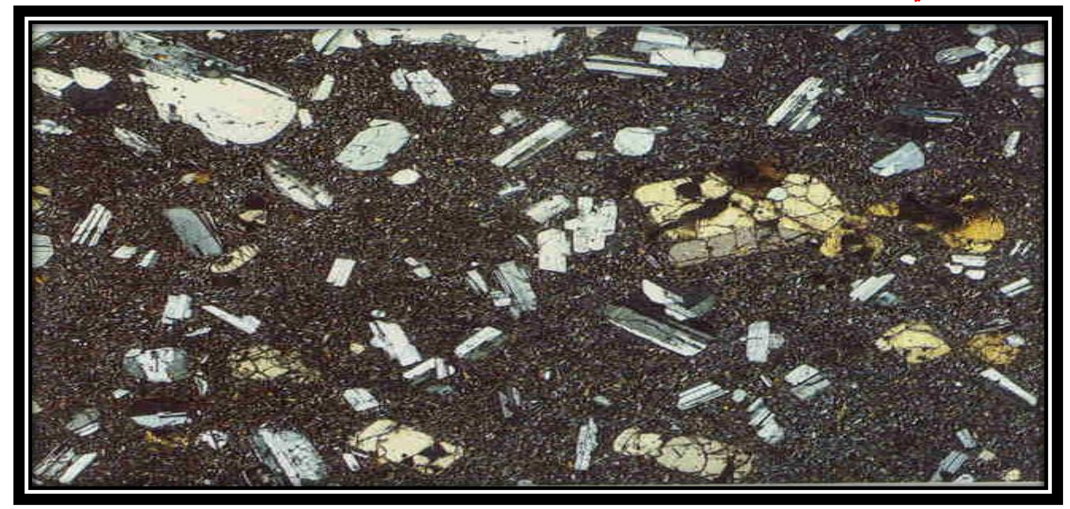
- الأنديزايت اكثر الصخور البركانية انتشاراً
- اكثر اماكن تواجد الأنديزايت في الأحزمة الأوروجينية orogenic belts القديمة والحديثة حيث يكون الصخر الأساسي في السلاسل البركانية الكلسقلوية وكذلك يوجد في مناطق الأنشطة البركانية القارية بمصاحبة البازلت.



- يتكون الأنديزايت من البلاجيوكليز المتوسط والبيروكسين والأمفيبول أو كليهما معاً.
- يشكل البلاجيوكليز المعدن الرئيسي حيث يكون ما بين ٤٠ إلى ٦٠% من حجم الصخر وغالباً ما يوجد على هيئة بلورات بارزة phenocrysts (An85 في اللب إلى An30 في الأطراف) بالإضافة إلى البلورات الصغيرة التي تكون الجزء الأكبر من الأرضية (حوالي An40).
- يمثل البيروكسين في الأنديزايت بكل من الأجيت الديوبسيدي (الغني بالكالسيوم) والهيبرثين الذين قد يوجدا معا في نفس الصخر أو يوجد أحدهما بمفرده.
- يوجد البيروكسين على هيئة بلورات بارزة وكذلك في الأرضية .
- يشكل الأمفيبول احد المعادن المافية الرئيسية في الأنديزايت وقد يوجد الهورنبلند مع البيروكسين في نفس الصخر وقد يسود احدهما على الآخر.
- البيوتايت يأتي في المرتبة الثانية كمعدن مافي رئيسي في الأنديزايت فهو لا يأتي بمفرده بل يكون مصاحبا لأحد المعادن المافية الرئيسية المذكورة سابقاً.
- يتميز الأنديزايت بالنسيج البورفيري.



الأندسايت من الصخور البركانيه وهو غني في السليكا من البازلت ، أخذت تسميتها بالأندسيت نسبة إلى جبال الأنديز في أمريكا الجنوبيه.

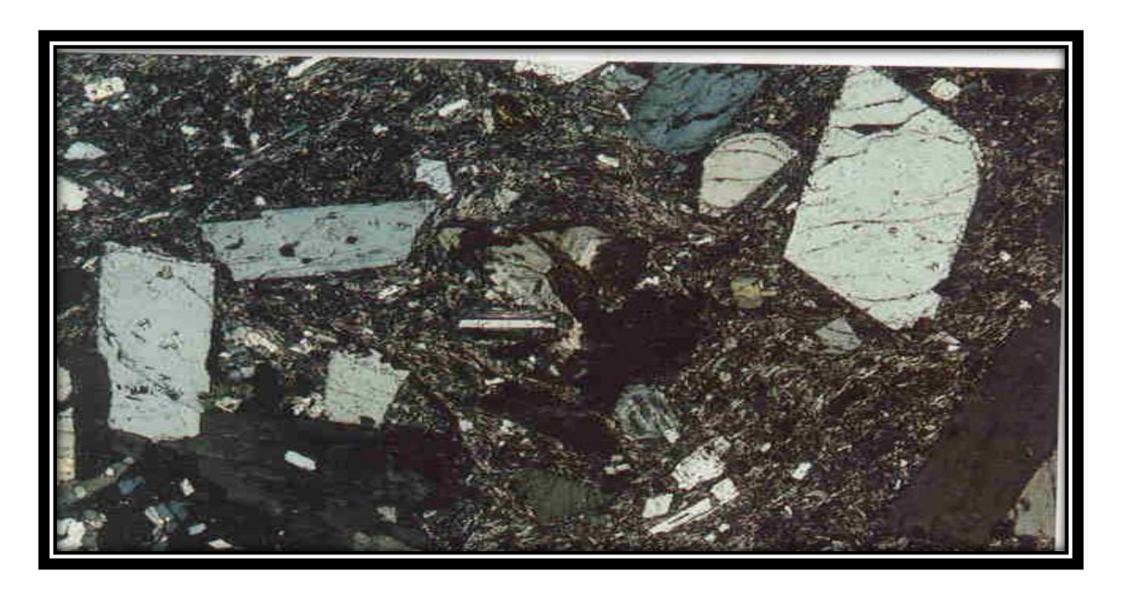


Andesite

التراكيت Trachyte

- يتكون التراكيت اساسا من الفلسبار القلوي الذي يكون أكثر من ٨٠% من حجم الصخر وهو في أغلب الأحيان فلسبار بوتاسي (ساندين).
- قد توجد نسبة بسيطة من البلاجيوكليز في التراكيت .
- التراكيت يكون دائما بورفيريا.
- المعادن المافيه الأساسية هي البيروكسين (أوجيت أو ايجرين اوجيت و احيانا ايجرين) والأمفيبول (هورنبلند وأحيانا ريبيكايت) والبيوتايت.
- المعادن المافية الإضافية غالبا تكون اباتيت apatite و زيركون zircone و سفين sphene وروتيل rutile وقليل من المعادن المعتمة مثل الألمنيت illmenite والتيتانوماجنتيت.

• تتميز معظم صخور التراكيت بنسيج خاص هو النسيج التراكيتي حيث تترتب لاثات الفلسبار الدقيقة في الأرضية موازية لبعضها بشكل واضح جدا وتلتف حول البلورات البارزة الكبيرة بشكل انسيابي يدل على ان نشأة الصخر راجعة إلى انسياب اللابا اللزجة.



Trachyte

ج- الصخور البركانية القاعدية (المافية).Mafic Rocks

الصخور المافية هي تلك التي ترتفع فيها نسبة المعادن المحتوية العناصر المافية مثل الحديد والماغنسيوم ولا تزيد نسبة معدن المرو فيها على ٥%. وتضم الصخور النارية البركانية المافية.

• **تضم هذه العشيرة أكثر الصخور البركانية شيوعا فى القشرة الأرضية وهى الصخور البازلتيه. وتقسم إلى فصيلتين:**

فصيلة الصخور المافية الكلسقلوية

فصيلة الصخور المافيه القلوية

انسجة الصخور البركانية والغورية:

• انسجة الصخور البازلتية هي الأنسجة التي تميز البازلت بنوعياته المختلفة.

• تعتبر من أحد المعايير لتمييزه وتعريفه وأهم عنصر فيها أن البلاجيوكليز يتخذ هيئة نضديه Tabular

• **أهم هذه الأنسجة هى:**

النسيج البيني texture Intergrnular

النسيج البيني الزجاجي Interstal texture

النسيج الأوفيتي texture Ophitic

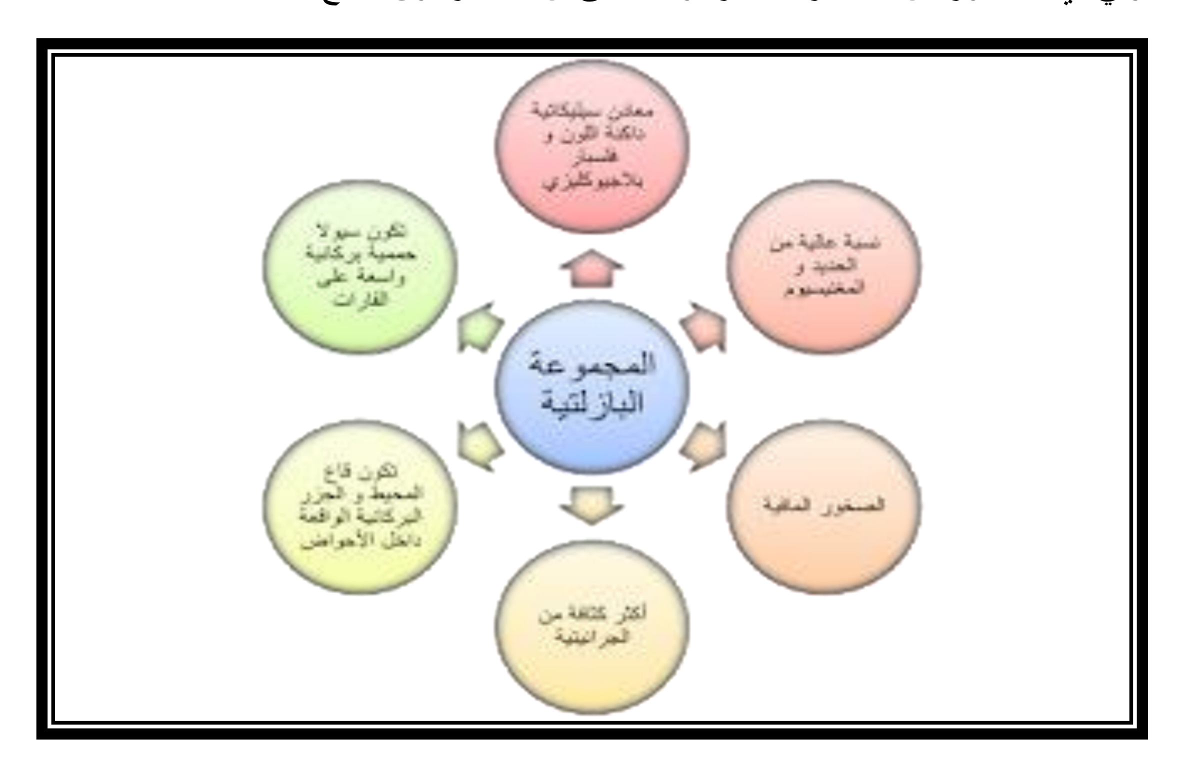
النسيج شبه الأوفيتي texture Subophitic

النسيج الأوفيتي الزجاجي texture Hyalopilitic

أنواع البازلت:

البازلت الثيوليتىTholeiitic Basalt والبازلت الكلسقلوىCalcalkaline Basalt

• يتشابه هذين النوعين من البازلت من حيث التركيب المعدني لكنهما يختلفان في التركيب الكيميائي.
• يتكون البازلت الثيوليتي من اللابرادورايت والأوجيت الديوبسيدي بالإضافة إلى الأوجيت أو الهايبرثتين (أو الإثنين معا).
• النسيج المميز للثيوليت هو النسيج البيني او الزجاجي البيني وفي بعض الأحيان النسيج البوريفيري (بلورات كبيرة من الفلسبار أو البيروكسين – بلورات الفلسبار الكبيرة تكون في العادة أغنى في الكالسيوم من بلورات الفلسبار الموجودة في الأرضية).
• أهم المعادن الإضافيه هي الإبتايت المعادن المعتمة (المجناتيتmagnetite أو التيتانيومجنتيتtitanomagnetite والهيماتيتhematite الذي ينتج من أكسدة الماجنيتيت).
• قد يحتوي الثيوليت على نسبة ضئيلة من الكوارتز في الفراغات البينية وهذا الكوارتز يعتبر أولي أي أنه تبلور من الصهارة مباشرة ويدل على ان الصخر فوق مشبع قليلا.



الأليفين ثولييت بازلت Olivine Tholeiite

• يشبه البازلت الثولييتي في التركيب المعدني والنسيج فيما عدا احتوائه على بلورات كبيرة من الأليفين .
• بلورات الأليفين لاتوجد في الأرضية ولها شكل متكامل إلى نصف متكامل
• يبدو علىمعظم بلورات الأليفين مظهر التآكل الصهاري وهذا يدل على أن الأليفين غير متزن مع الصهار الثيوليتي لكنه يتكون منه في البداية ثم يعود للتفاعل معه ليكون البيروكسين ولكن التفاعل لا يتم إلى النهاية بسبب التبريد السريع.

بازلت الأليفين القلوى Alkali Olivine Basalt

• يشبه البازلت الثيوليتي في كل انسجته لكنه يختلف عنه في التركيب المعدني .
• الأليفين يوجد في هذا الصخر كمعدن رئيسي كما أنه يشيع في البلورات الكبيرة في النوعيات البورفيريه.
• الأليفين أغنى في الحديد من الأليفين الذي قد يوجد في الثيوليت.
• البيروكسين هومن نوع الأوجيت الغني بالتايتنيوم (له تغير لوني ضعيف من عديم اللون إلى وردي فاتح).
• وجود التيتانوجيت في البازلت من الدلائل المؤكدة على انه بازلت قلوي.
• تدل خصائص بازلت الأليفين القلوي على أن هذا الصخر ينشأ من صهار بازلتي قلوي تزيد فيه نسبة القلويات إلى الألومنيا عن ١:١ لذلك يدخل اكسيد التيتانيوم في تركيب الاوجيت بدلا من الألمنيوم .

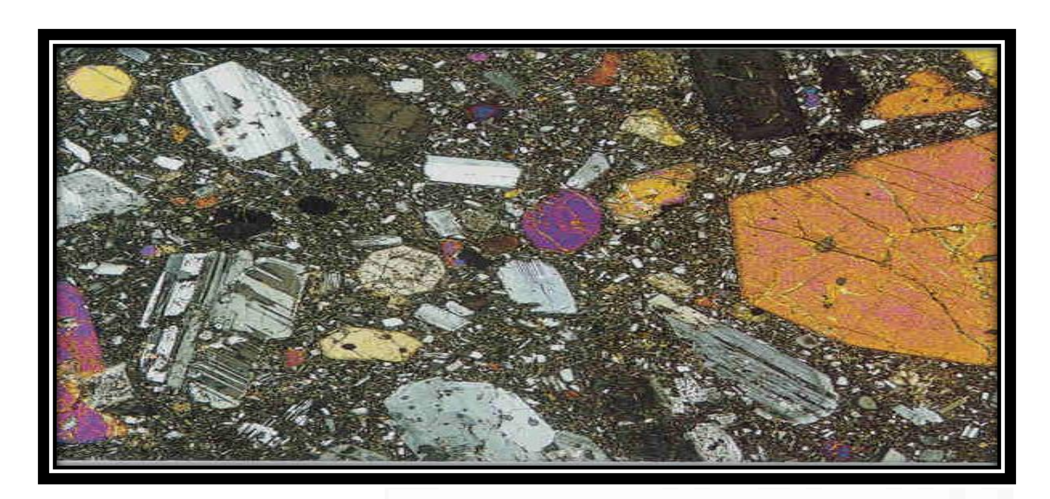


البازلت : وهو صخر واسع الانتشار ويشكل قسم كبير من القشرة المحيطية وتظهر في هذه العينة الفقاعات التي أدى بها ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء بعد خروج الصخر من الصخور المنصهرة عند اقترابها من سطح الأرض. خلال فترة طويلة من التخزين تحت البركان . أما الحبوب الخضراء فهي ما يسمى بالزبرجد الزيتزني .وهذا دليل على ان هذا البازلت شهد حدثين مختلفين ، وذلك لوجود الفقاعات والزبرجد الزيتوني .

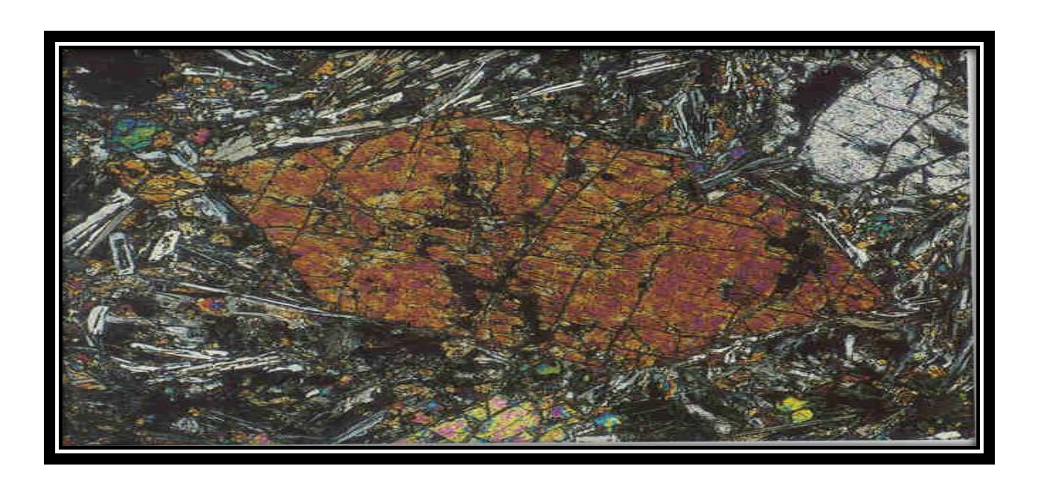




Basalt



Seriate-textured olivine basalt



Euhedral olivine in olivine basalt



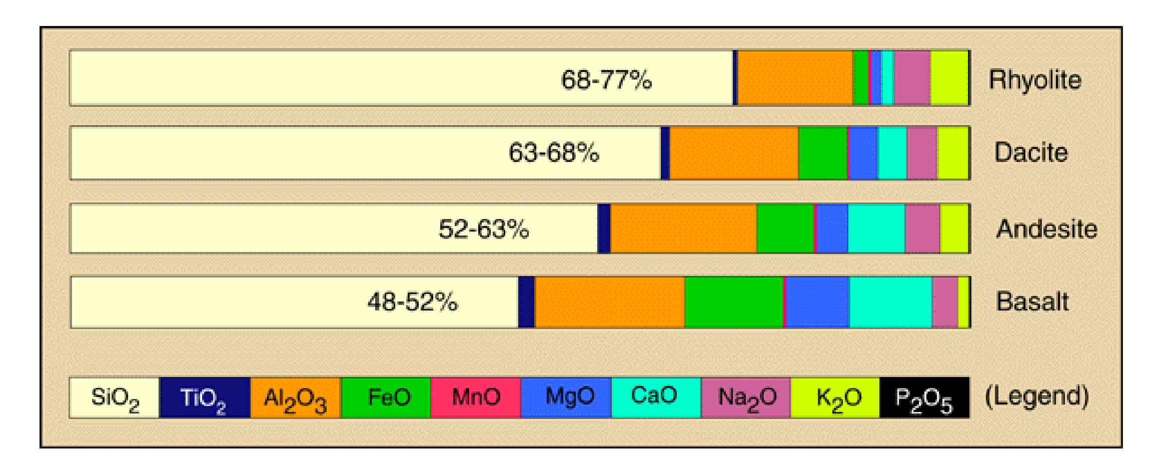
Dolerite

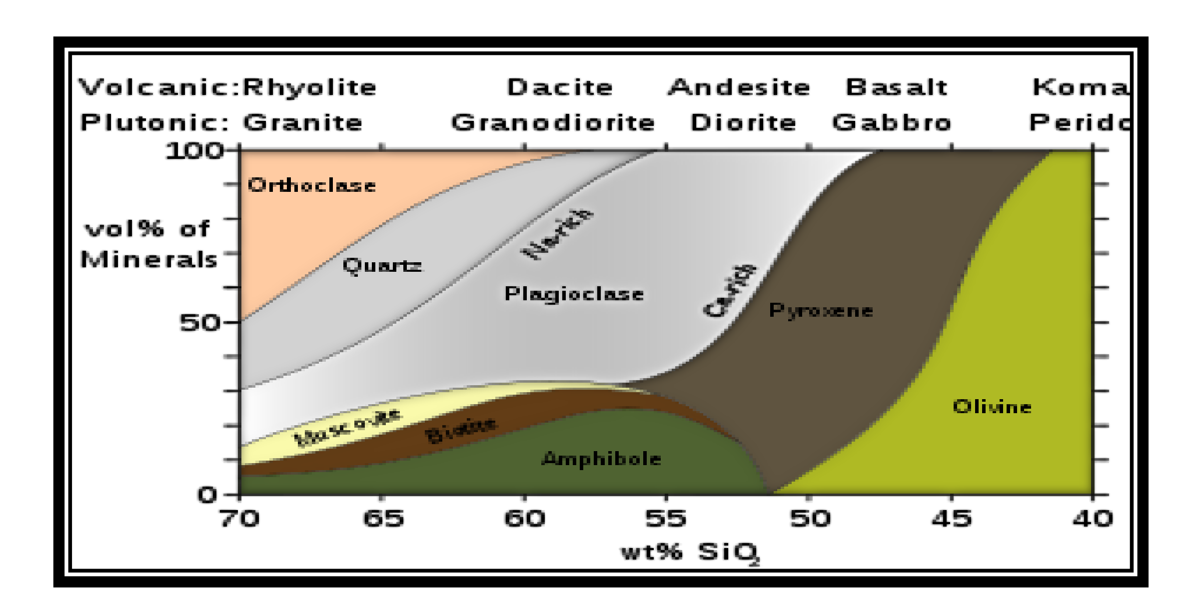
التصنيف الكيميائى:

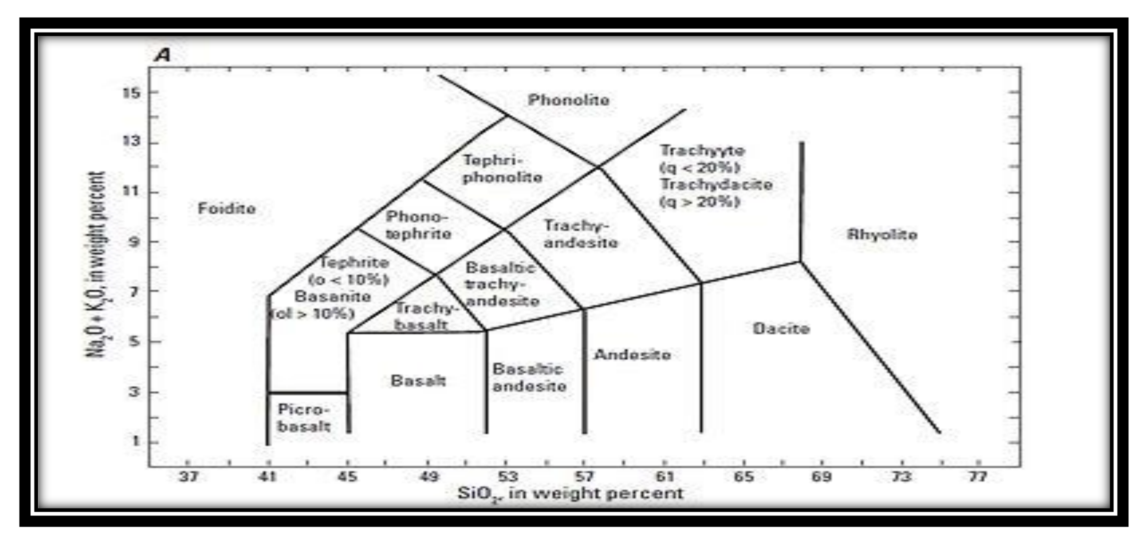
أثبت التحليل الكيميائى للصخور النارية أن معظمها يتكون من معادن السيليكات ومن هذا اتخذت نسبة السيليكا ـ فى البداية كأساس لتصنيف الصخور النارية إلى أربعة مجموعات :

أ – **صخور حامضية Acidic** وتصل نسبة السيليكا فيها إلى أكثر من ٦٦٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخور الجرانيت Granite والجرانوديوريت. Granodiorite
ب - **صخور نارية متوسطة Intermediate** وتتراوح نسبة السيليكا فيها من ٦٦ ـ ٥٢ ٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخور السيانيت Syenite والديوريت. Diorite
ج ـ **صخور نارية قاعدية Basic** وتتراوح نسبة السيليكا فيها من ٥٢ ـ ٤٠ ٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع الجابرو Gabbro والبازلت . Basalt
د ـ **صخور نارية فوق قاعدية Ultrabasic** وتصل نسبة السيليكا فيها إلى أقل من ٤٠٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخور الدونيت Dunite والبريدوتيت. Peridotite .

Major Chemical Elements Forming Igneous Rocks







. كما تقسم الصخور النارية أيضا حسب محتواها من المعادن السيليكاتية ، اعتمادا على آلاف التحليلات المعدنية التي أجريت في مختلف أنحاء العالم . وتقسم المعادن السيليكاتية إلي مجموعتين، **أولاهما مجموعة المعادن الفلسية** الغنية بالسيليكا، وتشمل الكوارتز والفلسبار (بنوعيه الأرثوكليز والبلاجيوكليز)، **وثانيهما مجموعة المعادن المافية الفقيرة في السيليكا**، وتشمل مجموعات الأمفيبول والبيروكسين والأوليفين والميكا الداكنة (بيوتيت). وتتبلور المعادن المافية عند درجات حرارة أعلى من تلك التي تتبلور عندها المعادن الفلسية. وبالتالي تكون المعادن المافية أسبق في التبلور من المعادن الفلسية عندما تبرد الصهارة. ويمكن استخدام صفات فلسي ومافي (من الكلمة اللاتينية، بمعنى حديد) لكل من المعادن والصخور الغنية في هذه المعادن.

ولقد أصبح واضحا أن معرفة المعادن المكونة للصخور تقدم معلومات مهمة عن الظروف التي تكونت فيها الصهارة الأصلية وتبلورها. ولتفسير هذه المعلومات بدقة، فإننا يجب أن نفهم العمليات التي تؤدي إلي تكون الصهارة، وهو ما سنناقشه فيما يلي:

– كيف تتكون الصهارات؟

الصهارة هى مواد صخرية منصهرة تشمل على كل الحبيبات المعدنية العالقة والغازات الذائبة. وتتكون الصهارة حينما ترتفع درجات الحرارة بدرجة تكفي لصهر صخور القشرة أو الوشاح. وتصل الصهارة إلي سطح الأرض عن طريق البراكين.

ويمكن استنتاج ثلاث خصائص مهمة للصهارة من خلال مشاهدة تدفق اللابة:

١ – تتميز الصهارة بأنها تتكون في معظمها من السيليكا.

٢ – تتميز الصهارة بارتفاع درجة حرارتها.

٣ – تتميز الصهارة بقدرتها على الحركة وقابليتها للتدفق والانبثاق. وهذا صحيح بالرغم من أن بعض الصهارات تكاد تكون صلبة. وتكون معظم الصهارة عبارة عن خليط من البورات والسوائل (ويشار إليها باسم صهير).

وتدل طريقة انتقال الموجات الزلزالية في الأرض، على أن معظم مكونات الأرض تكون صلبة حتى عمق آلاف الكيلومترات، والتي تمتد حتى حدود لب الأرض. بينما تدل الانبثاقات البركانية على أنه لابد من وجود مناطق تنصهر فيها الصخور لتنشأ الصهارات المختلفة. فكيف يمكن حل هذا التناقض؟. وتمكن الإجابة عن هذا السؤال في العمليات التي تؤدي إلي انصهار الصخور ونشأة الصهارات.

وعلى الرغم من أنه يمكننا مشاهدة الانبثاقات البركانية (اللابات) في الطبيعة، ودراسة الفتات البركاني في المعامل، إلا أن معظم عمليات تكوين الصخور النارية لا يمكن مشاهدتها مباشرة. وتعتمد دراسة الصهارات أساسا وعمليات تكون الصخور النارية على الاستدلال الجيولوجي والمحاكاة المعملية. فعلى سبيل المثال، لنعرف أين تنصهر الصخور في الأرض، فلابد ألنا أن نعرف الظروف التي ينصهر فيها العديد من الصخور والأماكن الموجودة بالأرض والتي تتواجد بها هذه الظروف.

– كيف تنصهر الصخور؟

لقد أفادت التجارب المعملية كثيرا في فهم ميكانيكية انصهار وتصلب الصخور. فنحن نعرف من هذه التجارب أن نقطة انصهار الصخور تعتمد على التركيب المعدني والكيميائي للصخر وعلى الظروف السائدة من الحرارة والضغط.

الحرارة والانصهار: أوضحت التجارب في بداية القرن العشرين أن الصخر المتكون من عدد من المعادن لا ينصهر تماما عند درجة حرارة ما. ويحدث هذا الانصهار الجزئي لأن المعادن المكونة للصخر تنصهر عند درجات حرارة مختلفة. فعندما ترتفع درجة الحرارة تنصهر بعض المعادن ويبقى بعضها الآخر صلبا. فإذا توقفت عملية الانصهار وظلت الظروف مستمرة عند درجة حرارة ما، فإن الانصهار يتوقف ، ويتبقى خليط من الصخر الصلب والصهير. ويسمى جزء الصخر الذي انصهر عند درجة حرارة معينة بمصهور جزئي.

وتعتمد نسبة الجزء المنصهر في الانصهار الجزئي على التركيب المعدني للصخور ودرجة انصهارها ودرجة الحرارة الموجودة في القشرة الأرضية أو الوشاح، حيث تحدث عملية الانصهار. فعند الحد الأدنى من مدى عملية الانصهار، يجب ألا تقل نسبة الجزء المنصهر عن ١% من حجم الصخر الأصلي . حيث معظم الصخر الساخن في حالة صلبة بينما تتواجد نسبة من المصهور على هيئة قطرات صغيرة على امتداد الحدود بين البلورات في جميع أنحاء كتلة الصخر. وعلى سبيل المثال، تتراوح نسبة الصهير في عديد من المصهورات الجزئية لصهارات

بازلتية في أعلى الوشاح بين ١ و٢% فقط. وعند الحد الأعلى للحرارة من مدى عملية الانصهار، فإن معظم الصخر يكون في حالة منصهرة مع كميات أقل من بلورات غير منصهرة بها. وهذا ما يحدث عندما تتواجد غرفة صهارة جرانيتية بها بلورات أسفل بركان.

وقد ساعد فهم عملية الانصهار الجزئي، في فهم كيفية تكون أنواع مختلفة من الصهارة عند درجات حرارة مختلفة في أماكن مختلفة من باطن الأرض . فمن السهل الآن فهم كيف أن تركيب مصهور جزئي من صخر يحتوي على معادن ذات درجات انصهار أقل، يكون مختلفا بدرجة ملحوظة عن صخر تم صهره تماما. لذلك فإن الصهارات البازلتية التي تكونت في أماكن عديدة من الوشاح قد تختلف إلي حد ما في التركيب. ومن هذه المشاهدة، فإنه من المتوقع أن الصهارات المختلفة تأتي من نسب مختلفة من المصهور الجزئي.

الضغط والانصهار: يزداد الضغط كلما زاد العمق في الأرض نتيجة لزيادة وزن الصخور التي تعلوه. ولقد أوضحت التجارب المعملية أنه عند صهر الصخور تحت ضغوط مختلفة ، فإن زيادة الضغط تؤدي إلي زيادة درجة الحرارة التي ينصهر عندها الصخر. ولذلك فإن الصخور التي تنصهر عند درجات حرارة معينة عند سطح الأرض، تظل في الحالة الصلبة عند درجة الحرارة نفسها في باطن الأرض، تظل في الحالة الصلبة عند درجة الحرارة نفسها في باطن الأرض بسبب الضغط المرتفع. فإذا انصهر صخر عند درجة حرارة ١٠٠٠م عند سطح الأرض، فإن درجة حرارة الانصهار ربما تصل إلي ١٣٠٠م عند الأعماق في باطن الأرض حيث يزداد الضغط آلاف المرات عنه عند سطح الأرض. ولذلك، فإن تأثير الضغط يفسر عدم انصهار الصخور في معظم القشرة الأرضية والوشاح إلا حيث يسمح التركيب وكل من الضغط والحرارة بالانصهار.

الماء والانصهار: أظهر تحليل اللابات الموجودة في الطبيعة وجود الماء في بعض الصهارات. لذلك قام العلماء بإضافة كميات صغيرة من الماء إلي الصخور التي قاموا بصهرها، حيث أدى ذلك إلي اكتشاف أن تركيبي المصهور الجزئي والمصهور الكامل لم يتغيرا بتغير درجات الحرارة والضغط فقط، ولكن تغير أيضا من كمية الماء الموجودة أيضاً. ولنأخذ مثلاً تأثير محتوى الماء على معدن الألبيت وهو أحد معادن فلسبار البلاجيوكليز الغني بالصوديوم، وذلك عند الضغط المنخفض عند سطح الأرض . فإذا كان الماء موجوداً بكمية بسيطة، فإن الألبيت النقي يظل في الحالة الصلبة حتى درجات حرارة فوق ١٠٠٠م حيث يتواجد الماء في الألبيت عند هذه الدرجات العالية من الحرارة في صورة غاز. فإذا أضفنا الماء بكميات كبيرة، فإن درجة حرارة انصهار الألبيت تنخفض إلي ٨٠٠م. ويتبع هذا السلوك القاعدة العامة التي تقول بأن إضافة مادة إلي مادة أخرى يؤدي إلي انخفاض درجة انصهار المحلول. وتلك القاعدة يمكن ملاحظاتها في المناطق الباردة حيث يتم رش الملح على الثلج المتجمع على الطرقات حتى تنخفض درجة انصهار الثلج.

وبالطريقة نفسها فإن درجة حرارة انصهار الألبيت وكل معادن السيليكات الأخرى تنخفض بشكل ملحوظ في وجود كميات كبيرة من الماء حيث تتناسب درجات انصهار معادن السيليكات المختلفة مع كمية الماء المذابة في السيليكات المصهورة. ومحتوى الماء عامل مهم في انخفاض درجة حرارة انصهار مخلوط الصخور الرسوبية مع الصخور الأخرى، حيث إن الصخور الرسوبية تحتوي على حجم كبير من الماء في فراغاتها أكبر بكثير من تلك الموجودة في الصخور النارية أو المتحولة.

– تكون غرف الصهارة :

تكون كثافة معظم المواد أقل في الحالة السائلة عنها في الحالة الصلبة. فكثافة المواد الصخرية المنصهرة أقل من كثافة الصخر الصلب المماثل له في التركيب – بمعنى أن وزن حجم معين من المصهور أقل من وزن نفس الحجم من الصخر الصلب. ولقد اقترح العلماء الطريقة التي تتكون بها الأجسام الكبيرة من الصهارة. فإذا أعطيت الفرصة للمصهور الأقل كثافة للتحرك فإنه سيتحرك لأعلى ، كما ينتقل البترول الأقل كثافة من الماء بأن يرتفع إلي السطح في مخلوط من الماء والبترول. وحيث إن المصهور الجزئي يكون في الحالة السائلة، فإنه يتحرك ببطء لأعلى على امتداد الحدود بين بلورات الصخور التي تعلوه. وتتحرك القطرات الساخنة لأعلى، لتلتحم مع بقية القطرات، لتكون تجمعاً كبيراً من الصخر المنصهر داخل باطن الأرض الصلب.

ومن المعروف الآن أن التجمعات الكبيرة من الصخور المنصهرة تكون غرف الصهارة – وهى تشبه كهوف كبيرة ممتلئة بالصهارة في الغلاف الصخري. وتتكون من قطرات الصخر المنصهر الصاعدة وتندفع داخل الصخور الصلبة المحيطة. وقد تصل غرف الصهارة لأحجام كبيرة قد تصل إلي عدة كيلومترات في الحجم. وماتزال الطريقة التي تتكون بها غرف الصهارة، وكذلك التحديد الدقيق لشكل غرف الصهارات في الأبعاد الثلاثة موضع دراسة.

ويمكن تصور غرف الصهارة على أنها كهوف كبيرة ممتلئة بالصهير في وسط من الصخور الصلبة، حيث تتمدد نتيجة لإضافة المزيد من مصهور الصخور المحيطة أو السوائل التي تهاجر خلال الكسور والفتحات الصغيرة الأخرى بين البلورات. وتنكمش غرف الصهارة بعد اندفاع الصهارات إلي السطح عند الانبثاقات. ومن المسلم به الآن وجود غرف الصهارة، حيث تظهر الموجات الزلزالية عمقها وحجمها والحدود العامة لها أسفل البراكين النشطة.

– التمايز الصهاري :

لقد أوضحنا فيما سبق كيف تتكون الصهارات، إلا أننا لم نعرف كيف تتكون الأنواع المختلفة من الصخور النارية. **فهل تتكون هذه الصخور من صهارات مختلفة في التركيب الكيميائي نتيجة انصهار أنواع مختلفة من الصخور؟. أم أن هناك عمليات أخرى تؤدي إلي تكون الأنواع المختلفة من الصخور من مادة واحدة أصلية متجانسة؟.** وقد تم الإجابة على هذه الأسئلة من النتائج التي تم التوصل إليها من الدراسات التي تمت على الصخور النارية في أوائل القرن العشري حيث خلط العلماء عناصر كيميائية بنسب تحاكي تلك الموجودة في الصخور النارية في الطبيعة ثم قاموا بصهرها في أفران ذات درجة حرارة عالية. وقد سجلت درجات الحرارة التي تتصلب عندها الصهارات وتتكون البلورات، وكذلك التركيب الكيميائي لهذه البلورات. ولقد أدت هذه الدراسات إلي التوصل إلي **نظرية التمايز الصهاري**. ومفهوم هذه النظرية أن صخور

مختلفة في التركيب تتكون من صهارة واحدة متجانسة تعرف بالصهارة الأم بالتمايز الصهاري، كما يحدث أحيانا انشقاق للصهير الأم إلي صهارات مختلفة تعرف بالصهارة المشتقة. ويتكون من كل صهارة مشتقة نوع من الصخور النارية يختلف في تركيبه عن الصهارة الأم. ويحدث التمايز الصهارى بسبب اختلاف درجة حرارة تبلور المعادن وكثافتها. ويتغير تركيب الصهارة أثناء عملية التبلور نتجة نقص بعض العناصر الكيميائية التي استخدمت في تكوين المعادن المتبلورة.

وبصورة مماثلة لعملية الانصهار الجزئي، فإن **أول المعادن المتبلورة من الصخور المنصهرة أثناء التبريد تكون هى آخرها في الانصهار أثناء التسخين** في التجارب المعملية. وخلال هذه العملية من التبلور، فإن التركيب الكيميائي للصهارة يتغير نتيجة دخول العناصر الكيميائي المختلفة في تبلور المعادن. وأخيرا، وعند درجة الحرارة التي يتم عندها تصلب الصهارة تماما، فإن **آخر المعادن المتبلورة هى أولها في الانصهار عندما يتم تسخين الصخر.**

<u>ولقد ظهر أثناء التجارب المعملية أن هناك نمطين للتبلور:</u>

١ – **<u>تغير مستمر وتدريجي</u>**. وفي هذا النموذج، والذي يمثله فلسبار البلاجيوكليز، يتغير التركيب الكيميائي للفلسبار المتكون تدريجيا أثناء تقدم عملية التبلور.

٢ – **<u>تغير فجائى ومنفصل</u>**. وفي هذا النموذج، والذي يميز المعادن المافية مثل الأوليفين والبيروكسين، تتغير البنية البلورية والتركيب الكيميائي للبلورات دون تواصل أثناء التبريد، حيث يتغير معدن ما فجأة إلي معدن آخر عند درجة حرارة معينة. ونظرا لأن هذين النموذجين للتبلور أساسيان لفهم عملية التمايز الصهارى:

<u>أ– سلسلة التفاعل المتصلة :</u>

عندما تبرد مصهورات محتوية على فلسبار بلاجيوكليز ذات تركيب كيميائي متنوع، فإن أول البلورات المتكونة تكون دائماً أغنى في الكالسيوم عن المصهور، ويستفيد تكوين هذه البلورات الكالسيوم من المصهور جزئيا. ويصبح المصهور المتبقى أغنى في الصوديوم . ونتيجة ذلك ومع استمرار تبريد المصهور، فإن البلورات التالية في التكوين تزداد غنيً في الصوديوم. وتتفاعل البلورات الغنية بالكالسيوم والمتكونة أولا مع المصهور الغنى في الصوديوم. وفي هذا التفاعل، فإن أيونات الصوديوم في المصهور تحل محل أيونات الكالسيوم في البلورة بحيث تصبح البلورات الغنية بالكالسيوم والمتكونة في المرحلة المبكرة أغنى في الصوديوم. وتكون جميع البلورات سواء المتكونة سابقا أو لاحقا لها جميعاً التركيب الكيميائي نفسه. ومع استمرار العملية يصبح كل من المصهور والبلورات أغنى تدريجياً في الصوديوم وأفقر في الكالسيوم. وعند اكتمال عملية التبلور تصبح الكتلة النهائية الصلبة المتجانسة للبلورات لها تركيب المصهور الأصلي نفسه. ونلاحظ أنه في كل المراحل فإن المعدن المتبلور كان دائما هو فلسبار البلاحيوكليز.

والفكرة الأساسية لهذه العملية هو التفاعل المستمر للبلورات مع المصهور، حيث يحدث تغير بسيط باستمرار، بحيث إنه عند أي نقطة خلال التبلور، فإن كل البلورات يكون لها التركيب الكيميائي نفسه. وتتحرك البلورات والمصهور خلال سلسلة من التراكيب، تكون أغنى في

الكالسيوم في المرحلة المبكرة، وأغنى في الصوديوم في المراحل اللاحقة. ومع استمرار عملية التبريد، تستمر سلسلة التفاعل المتصلة في التقدم حتى تتم عملية التبلور.

ب – سلسلة التفاعل غير المتصلة :

يتضمن تبلور المعادن المافية مثل الأوليفين والبيروكسين والامفيبول وميكا البيوتيت عملية مختلفة إلي حد ما عن تبلور معادن البلاجيوكليز. فقد أظهرت التجارب أنه إذا بردت مصهورات تحتوي على مكونات المعادن المافية بشكل تدريجي، وبطريقة مماثلة للتجارب التي أجريت على

فلسبار البلاجيوكليز، بحيث يمكن للبلورات أن تتفاعل مع المحلول، فإن المعادن المتكونة تبدي أيضا طريقة منتظمة في التبلور. فعند ١٨٠٠م يتبلور الأوليفين، ويستمر في التبلور حتى تصل درجة حرارة المصهور إلي ١٥٥٧م. وتحت هذه الدرجة يتكون البيروكسين فجأة، وهو معدن مختلف تماما عن الأوليفين، وتتحول كل بلورات معدن الأوليفين المتكونة مبكرا إلي البيروكسين. وعند ١٥٤٣م، يبدأ معدن الكريستوباليت في التكون، وهو أحد معادن السيليكا المتكونة عند درجة الحرارة العالية، كما يستمر البيروكسين في التبلور حتى يتم التصلب تماماً.

وفي بعض التجارب الأخرى، وباستخدام مصهورات ذات تركيب كيميائي مختلف يتبلور الأمفيبول أولاً، ثم البيوتيت عند درجات حرارة أقل من سلسلة الأوليفين – بيروكسين. وفي سلسلة التفاعل غير المتصلة هذه يحدث تفاعل بين المصهور ومعادن لها تركيب محدد عند درجات حرارة معينة فقط لتكون معادن جديدة مختلفة. وتختلف هذه العملية عن التطور التدريجي لفلسبار البلاجيوكليز والمصهور الأصلي حيث يحدث التفاعل على مدى مستمر ومتدرج من التركيب ودرجات الحرارة.

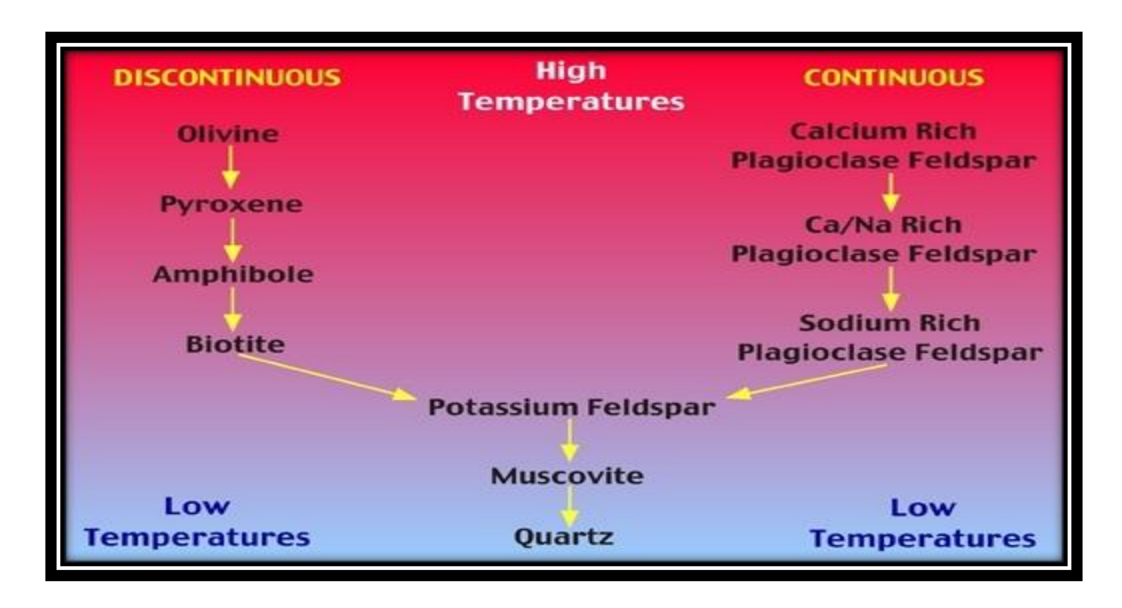
والبنية البلورية لمعادن السلسلتين التفاعلتين هى جزء من الاختلافات في البنية البلورية لمعادن السيليكات . ويلاحظ أن البنية البلورية الأساسية للفلسبار في سلسلة التفاعل المتصلة تبقى ثابتة بالرغم من تغير نسبة كل من الكالسيوم والصوديوم. وتتبلور معادن البلاجيوكليز في فصيلة الميول الثلاثة وتتميز بتركيب إطاري يتكون من رباعيات الأوجه السيليكاتية الممتدة في الأبعاد الثلاثة (وفي الحقيقة فإن البنيات البلورية لمعادن البلاجيوكليز تكون معقدة وتتغير تبعا للتركيب الكيميائي وظروف التبلور . وعلى العكس من ذلك، تتغير البنيات البلورية لسلسلة التفاعل غير المتصلة بانخفاض درجة الحرارة، مكونة تراكيب من رباعيات الأوجه السيليكاتية تزداد تعقيدا مع انخفاض درجة الحرارة. فعند أعلى درجات الحرارة، تتكون البنية البلورية لمعادن الأوليفين من رباعيات الأوجه السيليكاتية المفردة، وهى الوحدة البنائية الأساسية لمعادن السيليكات . وفي المرحلة التالية تتكون البيروكسينات من سلاسل مفردة من رباعيات الأوجه ثم تأتي الأمفيبولات المكونة من سلاسل مزدوجة من رباعيات الأوجه المتصلة، يليها الميكا المكونة من صفائح من رباعيات الأوجه. وعند المرحلة النهائية لكل من السلسلتين التفاعليتين المتصلة وغير متصلة نجد الكوارتز والفلسبارات، وهى عبارة عن ترابط إطاري (هيكلي) في الأبعاد الثلاثة من رباعيات الأوجه السيليكاتية.

وفي أثناء تبريد الصهارة في الطبيعة، والتي تحتوي عادة على العناصر الكيميائية لكل من فلسبارات البلاجيوكليز والمعادن المافية، فإن التبلور يحدث في نفس الوقت لكل من السلستين التفاعليتين. فعندما تنخفض درجة حرارة الصهارة عن ١٥٥٠م يتكون البيروكسين خلال سلسلة

التفاعل غير المتصلة ويتبلور فلسبار البلاجيوكليز المكون من الكالسيوم النقي خلال سلسلة التفاعل المتصلة.

وعلى الرغم من أن هاتين السلسلتين التفاعليتين تفسرا تركيب معظم الصخور النارية، إلا أنها لا تستطيع تفسير تركيب بعض الصخور الأخرى. فإذا أخذنا في الاعتبار صهارة طبيعية تفاعلت كل البلورات فيها مع مصهور الصخر عند كل مراحل التبلور، فإننا نتوقع تحت هذه الظروف أن يتكون في نهاية عملية التبلور صخر واحد مكون من فلسبار بلاجيوكليز واحد فقط تركيبه الكيميائي يقابل تركيب الصهارة الأم الأصلية بالإضافة إلي معدن البيروكسين. ولن نجد أي أثر لمراحل التبلور الأولى والتي تشمل فلسبار بلاجيوكليز غني بالكالسيوم والأوليفين. وعند فحص

صخور بركانية أخرى يحتوي بعضها على بلاجيوكليز غني بالكالسيوم والأوليفين، فقد يشير ذلك إلي غياب بعض مراحل عملية التبلور طبقا لنظرية التمايز الصهاري.



ج – التبلور التجزيئي :

احتاجت نظرية التمايز الصهاري إلي جزء أساسي آخر ليفسر أسباب الاحتفاظ ببعض المعادن المتكونة مبكرا بينما تغير تركيب الصهير. فقد اقترح الجيولوجي الكندي بوين في أوائل القرن الماضي ميكانيكية تفسر ذلك. حيث قام بوين عام ١٩٢٨م بدراسة سلسلة التفاعل المتصلة وغير المتصلة، لأنه كان مهتما بدراسة عملية التبلور وخاصة في المواقع التي لم يتغير فيها تركيب فلسبارات البلاجيوكليز، أو المعادن المافية خلال التفاعل مع السوائل المتبقية. فإذا بردت صهارة بطريقة أسرع من المعتاد، فإن بلورات فلسبار البلاجيوكليز في مثل هذه الصهارة قد تجد الوقت الكافي للنمو، ولكن لن تجد البلورات الوقت الكافي للفاعل مع الصهير إلا من خلال الأسطح الخارجية فقط. ونتيجة لذلك، فإن الطبقة الخارجية لكل بلورة سوف يتغير تركيبها. ومع تقدم عملية التبلور فإن الأجزاء الداخلية لبلورات الفلسبار تكون غنية بالكالسيوم ويحيط بها طبقات متعاقبة من البلاجيوكليز الذي أصبح أغنى في الصوديوم، حيث يكون الوقت غير كاف لتتحرك أيونات الكالسيوم والألومنيوم إلي الخارج من بلورات البلاجيوكليز المتكونة، لتحل محلها أيونات الصوديوم والسيليكون الموجودة في الصهير.

وستكون النتيجة النهائية لذلك أن يتكون ما نطلق عليه بلورة متمنطقة، وهى بلورة مفردة من معدن واحد لها تركيب كيميائي مختلف في أجزائها الداخلية عنه في أجزائها الخارجية. وبالإضافة إلي تأثير التبلور السريع، فلابد أن هناك عاملا آخر يؤدي إلي عدم تغير التركيب. فإذا غلفت الأجزاء الداخلية الغنية بالكالسيوم من البلورة النامية، فإن السائل لن يصل إلي حالة اتزان مع البلورات، كما يحدث في أثناء التفاعل المستمر البطيء. ولذلك يبقى السائل غنيا في الصوديوم، لأن الكالسيوم الموجود في الأجزاء الداخلية للبلورة لم يعد متاحا ليحل محل الصوديوم في المصهور.

وقد اقترح بوين نظرية لتفسير عملية التمايز الصهارى اعتمادا على التجارب المعملية والمشاهدات الحقلية. حيث يمكن خلال تلك العملية أن تتجمع البلورات المتكونة في المرحلة

المبكرة ثم تنعزل عن المصهور المتبقي بعدة طرق: منها أن يعمل الاستقرار البلورى على تجمع البلورات المتكونة مبكراً في قاع غرفة الصهارة، ثم تنفصل تلك البلورات عن أي تفاعلات أخرى مع السائل المتبقي. كما قد يؤدي كبس السائل المتبقي في غرفة الصهارة نتجة لتشوهات تكتونية لغرفة الصهارة أثناء عملية التبلور إلي عزل وضغط البلورات كجسم ناري متداخل واضح المعالم، وبذلك فإن الصهارة تهاجر إلي أماكن جديدة لتكون غرفاً جديدة . وسواء حدث ذلك باستقرار البلورات أو بالتشوه التكتوني، فإن البلورات المتكونة في المراحل المختلفة ستنعزل عن المصهور المتبقي، والذي سوف يسلك كما لو كان قد بدأ في التبلور في اللحظة نفسها. ففي سلسلة التفاعل المتصلة، يبدأ الصهير الذي أصبح أغنى في الصوديوم من ذلك الفلسبار الذي تبلور من الصهارة التي لم يحدث فيها عزل للبلورات. ويؤدي استمرار التبلور إلي تكون كتلة من فلسبارات أغنى بكثير في الصوديوم عن الصخر المتكون من الصهير الأصلي. وفي الوقت نفسه، فإن البلورات المنعزلة والغنية في الكالسيوم والتي تكونت في المرحلة الأولى، ستكون كتلة من الفلسبار أغنى في الكالسيوم عن المصهور الأصلي. والتبلور التجزيئي هو المصطلح المستخدم لشرح هذا الانفصال وإالة الأجزاء المتكونة من البلورات على التوالي عند تبريد الصهارة . وقد اعتقد بوين أن هذه العملية تؤدي إلي الاحتفاظ بالفلسبارات الغنية بالكالسيوم في المراحل المبكرة، وتبلور بلاجيوكليز غني بالصوديوم من صهارة غنية أصلاً في الكالسيوم.

وقد اقترح بوين أن عملية التبلور التجزيئي يمكن أن تؤثر أيضاً في المعادن المافية في سلسلة التفاعل غير المتصلة. وبطريقة مماثلة، فعندما تزال أولى بلورات البلاجيوكليز أثناء التبلور، فإن أولى بلورات الأوليفين المتكونة في سلسلة التفاعل غير المتصلة تستقر وتنعزل من أي تفاعل لاحق. حيث نجد هذه المعادن مع مقابلها من فلسبار البلاجيوكليز. ويتبلور البيروكسين من الصهارة بعد إزالة أولى بلورات الأوليفين التي تكونت. وهكذا تؤدي كل من سلسلة التفاعل المتصلة وغير المتصلة إلي تكوين مدي من المعادن المتبلورة مشابه لتلك الموجودة في الصخور النارية في الطبيعة.

د – نظرية بوين للتمايز الصهارى :

اعتقد بوين أن التبريد التدريجي وتمايز الصهارة البازلتية قد يؤدي إلي تكوين صهير يحتوي على نسبة أكبر من السيليكا، وأقل في درجة الحرارة بسبب التبلور التجزيءي. وعندما تتمايز الصهارة البازلتية بالتبلور التجزيئي في المراحل المبكرة تتكون صهارة أنديزيتية، وتنبثق لتكون لابة أنديزيتية أو تتبلور ببطء لتكون متداخل من صخر الديوريت. وتؤدي المراحل المتوسطة من

هذه العملية إلي تكون صهارات لها تركيب الجرانوديوريت. فإذا استمرت هذه العملية لوقت أطول، تكونت لابات ريوليتية ومتدخلات من صخر الجرانيت في المراحل المتأخرة .

ويوضح التبلور التجزيئي والتمايز الصهاري لماذا يحدث تنوع في تركيب الصخور النارية، كما يجب أن يفسرا حقيقتين تبدوان متعارضتين وهما:

• الانتشار الواسع للجرانيت، وهو صخر متداخل يقع عند نهاية الحد الأعلى لمحتوى السيليكا في الصخور النارية، كما أنه يحتوي على البلاجيوكليز الغني بالصوديوم ومعادن أخرى تتميز بانخفاض درجات حرارة انصهارها.

• البازلت، والذي يماثل الجرانيت في سعة الانتشار. والبازلت صخر منبثق يقع عند نهاية الحد الأدنى للسيليكا في الصخور المافية، كما أنه يحتوي على بلاجيوكليز غني بالكالسيوم ومعادن أخرى تتميز بارتفاع درجة حرارة انصهارها.

هـ - النظريات الحديثة بعد نظرية بوين :

نجحت نظرية بوين للتمايز الصهارى في باديء الأمر في شرح كيف تتكون أنواع مختلفة من الصخور النارية بالتبلور التجزيئي. كما شرحت نظرية بوين طريقة تكون الريوليت (وهو صخر منبثق مقابل للجرانيت) في نهاية سلسلة من الانبثاقات، والتي بدأت باللابة البازلتية.

وكما يحدث دائما عندما تستحوذ نظرية عملية جديدة على اهتمام الأوساط العلمية بسرعة، إلا أن الأبحاث التالية أثبتت الحاجة الماسة لإدخال تعديلات عليها، حيث أثبتت الأبحاث العلمية أنه لكي تتكون بلورات صغيرة من الأوليفين من صهارة لزجة وكثيفة، فإن ذلك يحتاج إلي وقت طويل جدا، وقد لا تصل أبدا إلي قاع غرفة الصهارة. كما أوضحت أبحاث أخرى أن هناك عديداً من المتداخلات المتطبقة التي تظهر العديد من الطبقات ذات تراكيب معدنية مختلفة، ولا يمكن تفسيرها ببساطة من خلال نظرية بوين. ولكن المشكلة الكبرى مع ذلك كانت وجود مصدر للأحجام الضخمة من الجرانيت الموجود على سطح الأرض، والتي لا يمكن تكوينها بالطريقة التي تقترحها نظرية بوين، نظرا لفقد كميات كبيرة من السوائل بالتبلور من خلال المراحل المتعاقبة من التمايز. ولكي يتكون الحجم الحالي من الصخور الجرانيتية، فإننا نحتاج إلي حجم من الصهارة البازلتية يساوي عشرة أضعاف حجم ممتداخلات الجرانيت. مما يتطلب تبلور كميات ضخمة من البازلت تحت المتدخلات الجرانيتية، إلا أن الدراسات الحديثة لم تثبت وجود هذه الأحجام الضخمة من البازلت. وحتى مع وجود كميات كبيرة من البازلت – عند حيود وسط المحيط – فلم يحدث مثل هذا التحول الشامل إلي الجرانيت من خلال التمايز الصهاري. وقد كشفت الدراسات اللاحقة أن انصهار كميات ضخمة من الأنواع المختلفة للصخور في الوشاح الأعلى والقشرة يؤدي إلي تغير واسع في تركيب الصهارات. فقد تنصهر جزئيا الصخور في أعلى الوشاح لتكون صهارة بازلتية، بينما ينصهر خليط من الصخور الرسوبية والصخور البازلتية المحيطة في نطاق الاندساس لتتكون صهارة أنديزيتية. وقد يؤدي انصهار خليط من الصخور الرسوبية النارية والمتحولة في القشرة القارية إلي تكون صهارة ريوليتية (جرانيتية).

وعلى الرغم من أن نظرية بوين الأصلية للتمايز الصهارى قد تغيرت منذ اقترحها بوين منذ عدة عقود، إلا أن الكثير من الأبحاث اللاحقة والتي أجريت على تمايز الصخور النارية، كان مبنيا أساسا على أفكار بوين.

و – التمثيل واختلاط الصهارات:

تدل الدراسات الحديثة أن عملية التمايز الصهاري لبوين لاتكفي وحدها لتفسير نشأة كل الصخور النارية المعروفة، وأن هناك ميكتنيكيات أخرى قد تؤدي أيضا إلي نشأة صهارات ذات تراكيب كيميائية مختلفة.

التمثيل الصهاري: قد يسبب تداخل الصهارة انصهار بعض الصخور المحيطة بها أو ابتلاع بعض الصخور الصلبة وهضمها في الصهارة . ويطلق على هذه العملية مصطلح التمثيل

الصهاري . فإذا صهرت أجزاء من قشرة قارية بصهارة بازلتية ساخنة فإن محتوى الصهارة من السيليكا يزداد وتبرد الصهارة أيضا. ومن المحتمل أن الصهارات الأنديزيتية المصاحبة لبراكين حزام المحيط الهاديء قد نشأت من تمثل صهارة بازلتية لبعض صخور القشرة.

اختلاط الصهارات: هناك ميكانيكية أخرى يمكن أن تؤدي إلي تغيير تركيب الصهارة، والتي تعرف باختلاط الصهارات. وقد تحدث هذه العملية عندما تتقابل صهارتان قابلتان للامتزاج ويختلطان في القشرة ليكونا صهارة ذات تركيب متوسط . فإذا اختلطت كميتان متساويتان من صهارة بازلتية وصهارة ريوليتية (جرانيتية)، فإن الصهارة الناشئة تتبلور تحت سطح الأرض لتكون صخر الديوريت وتتبلور فوق سطح الأرض لتكون صخر الأنديزيت.

ومن معرفتنا بكيفية تكون الصهارة، فإنه يمكن فهم مواضع تكون الأنوعا المختلفة منها عند درجات الحرارة المختلفة وأماكنها في باطن الأرض.

– مواضع تكون الصهارات وأنواعها :

يقوم فهمنا لعمليات تكوين الصخور النارية على الاستدلال الجيولوجي والتجارب المعملية. ويعتمد الاستدلال الجيولوجي أساساً على النتائج المستمدة من مصدرين أساسيين. **أولهما البراكين** الموجودة سواء فوق سطح الأرض أو تحت الماء، حيث تنبثق الصخور المصهورة. كما تعتبر الحرارة المسجلة في الآبار العميقة ومهوى المناجم (فتحة رأسية يتم من خلالها تشغيل المناجم تحت السطحية) **المصدر الثاني** للنتائج والتي تبين أن الحرارة الداخلية للأرض تزداد مع العمق. ولقد تمكن العلماء باستخدام هذه النتائج من تقدير المعدل الذي ترتفع به الحرارة مع زيادة العمق (تدرج حراري). وتكون درجات الحرارة المسجلة في بعض المناطق أكبر بكثير من الدرجات المسجلة عند العمق نفسه في مناطق أخرى، مما يدل على درجة حرارة بعض أجزاء القشرة الأرضية والوشاح تكون أعلى منها في المناطق الأخرى. فعلى سبيل المثال، تزداد الحرارة بمعدل استثنائي في المناطق النشطة تكتونيا أو بركانيا لتصل إلي ١٥٠٠م عند أعماق نحو ٤٠كم، أي ليست بعيدة عن الحد السفلي للقشرة. وتكون هذه الحرارة وتكون هذه الحرارة عالية بدرجة كافية لصهر البازلت. أما في المناطق المستقرة تكتونيا، وعند نفس العمق فترتفع الحرارة ببطء أكثر، لتصل فقط إلي ٥٠٠م.

ومن المعروف الآن أن أنواعا عديدة من الصخور يمكن أن تتصلب من الصهارة خلال عملية الانصهار الجزئي . وأن ازدياد درجة الحرارة في باطن الأرض يمكن أن يسبب تكون الصهارات. ويسمى الجيولوجيون الصهارات بأسماء مجموعات الصخور النارية المقابلة لها. وتستخدم عادة أسماء الصخور البركانية مثل: صهارة ريوليتية (مجموعة الصخور الفلسية) وصهارة أنديزيتية (مجموعة الصخور المتوسطة) وصهارة بازلتية (مجموعة الصخور المافية).

وسنناقش الأنواع الرئيسية للصهارات البازلتية والأنديزيتية والريوليتية فيما يلي:

١ – أصل الصهارة البازلتية :

تشمل المعادن السائدة في صخور البازلت كلا من البيروكسين والبلاجيوكليز، بالإضافة إلي بعض الأوليفين. وتتميز تلك المعادن كلها بأنها معادن لامائية. وترجع تلك الحقيقة إلي احتمال أن الصهارة البازلتية هى صهارة جافة أو فقيرة في محتوى الماء. وتدل جميع المشاهدات والدلائل أثناء انبثاق اللابة البازلتية أن محتوى الصهارة البازلتية من الماء يندر أن يتعدى ٠,٢% لذلك، فإنه يمكن استنتاج أن الصهارة البازلتية تنشأ نتيجة عملية الانصهار الجزئي الجاف للصخور فوقالمافية (مثل البريدوتيت) المتكونة في الأجزاء العليا من الوشاح وعند أعماق تصل إلي نحو ١٠٠كم. وتصعد الصهارة البازلتية لأعلى بعد نشأتها بغض النظر عن القشرة التي تعلوها (قارية أو محيطية).

٢ – أصل الصهارة الأنديزيتية :

يقارب التركيب الكيميائي للصهارة الأنديزيتية المتوسط العام لتركيب القشرة القارية. وتتواجد الصخور النارية المتكونة من الصهارة الأنديزيتية في القشرة القارية. وتشير تلك الحقائق إلي إمكانية نشأة الصهارة الأنديزيتية من الانصهار الكامل لجزء من القشرة القارية.

وعلى الرغم من أن بعض الصهارات الأنديزيتية تتكون فعلاً بهذه الطريقة، إلا أنه لوحظ انبثاق صهارة أنديزيتية من براكين فوق القشرة المحيطية بعيدة عن القشرة القارية، مما يحتم ضرورة افتراض أن الصهارة في تلك الحالات يجب أن تتكون إما من الوشاح وإما من القشرة المحيطية.

وقد أوضحت التجارب المعملية أن الانصهار الجزئي لقشرة محيطية بازلتية تحتوي على الماء، يؤدي إلي تكوين صهارة أنديزيتية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. وعندما يندس لوح من الغلاف الصخري في الغلاف اللدن (الأسثينوسفير) فإنه يحمل معه القشرة المحيطية البازلتية والصخور الرسوبية التي تعلوه، والتي تكون مشبعة بالماء، حيث ترتفع درجة حرارة اللوح. كما يؤدي الماء المنطلق من اللوح الهابط. وفي النهاية تبدأ القشرة المحتوية على الماء في الانصهار، حيث يؤدي الانصهار الجزئي للصخور المحتوية على الماء، عند ضغط مساو إلي عمق ٨٠كم، إلي تكون مصهور له تركيب الصهارة الأنديزيتية. ويدعم فكرة أن معظم الصهارة الأنديزيتية تنشأ بهذه الطريقة وجود حزام من البراكين الأنديزيتية النشطة يحيط بالمحيط الهاديء (حول اللوح الهاديء.

٣ – أصل الصهارة الريوليتية:

تدعم الحقيقتان التاليتان افتراض الأصل القاري للصهارة الريوليتية:

أ – تنحصر البراكين التي تنبثق منها الصهارة الريوليتية في القشرة القارية أو في مناطق البراكين الأنديزيتية.

ب – تطلق البراكين التي تنبثق منها الصهارة الريوليتية، كميات ضخمة من بخار الماء، كما أن الصخور النارية المتداخلة والمتكونة من الصهارة الريوليتية (الجرانيتية) تحتوي على كميات ملحوظة من المعادن التي يحتوي تركيبها الكيميائي على الماء مثل معادن الميكا والأمفيبول، الذي يأتي من الماء المذاب في الصهارة.

وتؤدي هاتان النقطتان إلي إمكانية نشأة صهارة ريوليتية من الانصهار الجزئي لصخور تحتوي على الماء ولها تركيب الأنديزيت، حيث يشبه تركيب الأنديزيت المتوسط العام لتركيب القشرة القارية. وتؤيد التجارب المعملية أيضا هذا الاقتراح، فقد أوضحت تلك التجارب أنه عندما انصهرت صخور تحتوي على الماء، ولها تركيب يشبه المتوسط العام لتركيب القشرة القارية، فإن تركيب الصهارة المتكونة يكون ريوليتيا.

وبمجرد تكون الصهارة الريوليتية، فإنها تبدأ في الصعود لأعلى ببطء، حيث تكون لزجه نتيجة احتوائها على نسبة عالية من السيليكا (نحو ٧٠%). وأثناء صعود الصهارة ببطء فإن الضغط يقل عليها، وبالتالي يقل أثر الماء كعامل لخفض درجة حرارة الانصهار، حيث تؤدي زيادة الضغط إلي زيادة كمية الماء القابل للذوبان في الصهير.

وإذا لم تتوافر الظروف التي تعمل على رفع درجة حرارة الانصهار، فإن الصهارة الصاعدة والمتكونة يالانصهار الجزئي لصخور تحتوي على الماء تتصلب وتكون صخوراً نارية متداخلة في الأعماق تحت سطح الأرض، حيث إن الصهارة الصاعدة تقابل صخورا باردة ولا يوجد مصدر لرفع درجة الحرارة في طريقها. ولذلك تقترب درجة حرارة جسم الصهارة الريوليتية الصاعدة من درجة حرارة التصلب تحت سطح الأرض، وتتكون متداخلات من الصخور الجرانيتية، بدلا من الانبثاق فوق سطح الأرض لتتكون لابة ريوليتية أو فتات ناري.

– أشكال المتداخلات الصهارية :

بالطبع لا يمكن تتبع أشكال الصخور النارية المتداخلة أثناء تداخل الصهارات في القشرة الأرضية. إلا أننا يمكن أن نستنتج أشكالها الآن من خلال العمل الحقلي الجيولوجي، الذي يقوم على رسم الخرائط ومقارنة المنكشفات البعيدة ثم إعادة تخيل تاريخها، بعد عدة ملايين من السنين من تكون هذه الصخور ورفعها وتعرضها لعملية التعرية. ومع ذلك، فإننا نملك بعض الأدلة غير المباشرة على النشاط الصهاري الحالي. فعلى سبيل المثال، تظهر لنا موجات الزلازل الحدود العامة الخارجية لغرف الصهارة التي تتواجد تحت بعض البراكين النشطة، إلا أنها لا تستطيع التنبؤ بشكل وحجم الجسم الناري المتداخل والذي يمكن أن تتكون من غرف الصهارة. ولقد أدت الدراسات إلي وصف وتصنيف عديد من أشكال الصخور النارية المتداخلة ومنها ما يلي:

تعريف التراكيب النارية:

وهي عبارة عن أجسام مختلفة الأشكال والأحجام تتكون من الصخور النارية. وهي على صنفين هما:

أولاً: التراكيب النارية الداخلية (Intrusive Igneous Structures) تتكون من تصلب الصهير (Magma) أسفل سطح الأرض.

ثانياً: التراكيب النارية الخارجية (Extrusive Igneous Structures) تتكون من تصلب الحمم (Lava) فوق سطح الأرض أو من تطايرها في الهواء ومن ثم تجمعها على سطح الأرض لتكوين طبقات من الصخور النارية الفتاتية (Pyroclstic Rocks). ونحن في هذا الفصل نهتم بدراسة الصنف الأول من التراكيب النارية لما له من أهمية في الجيولوجيا التركيبية (Billings,1972).

أهمية دراسة التراكيب النارية في الجيولوجيا التركيبية:

يرى البعض أن دراسة التراكيب النارية من مهام المختصين بالصخور النارية، وأنه لا يدخل ضمن اهتمامات الجيولوجيا التركيبية، ونحن لا نتفق مع هذا الرأي، لأن هناك عدة أسباب تدعونا لدراسة التراكيب النارية ضمن الجيولوجيا التركيبية، ذكرها بارك (Park, 1997) هي:

(١) إن التراكيب النارية الواسعة، أثناء صعودها إلى الأعلى، تعمل على حدوث تشويهات مهمة في الصخور المحيطة بها.

(٢) إن شكل واتجاه العديد من التراكيب النارية، هو نتيجة مباشرة لوجود تراكيب ثانوية مسبقة في الصخور المحيطة، مثل الكسور والطيات.

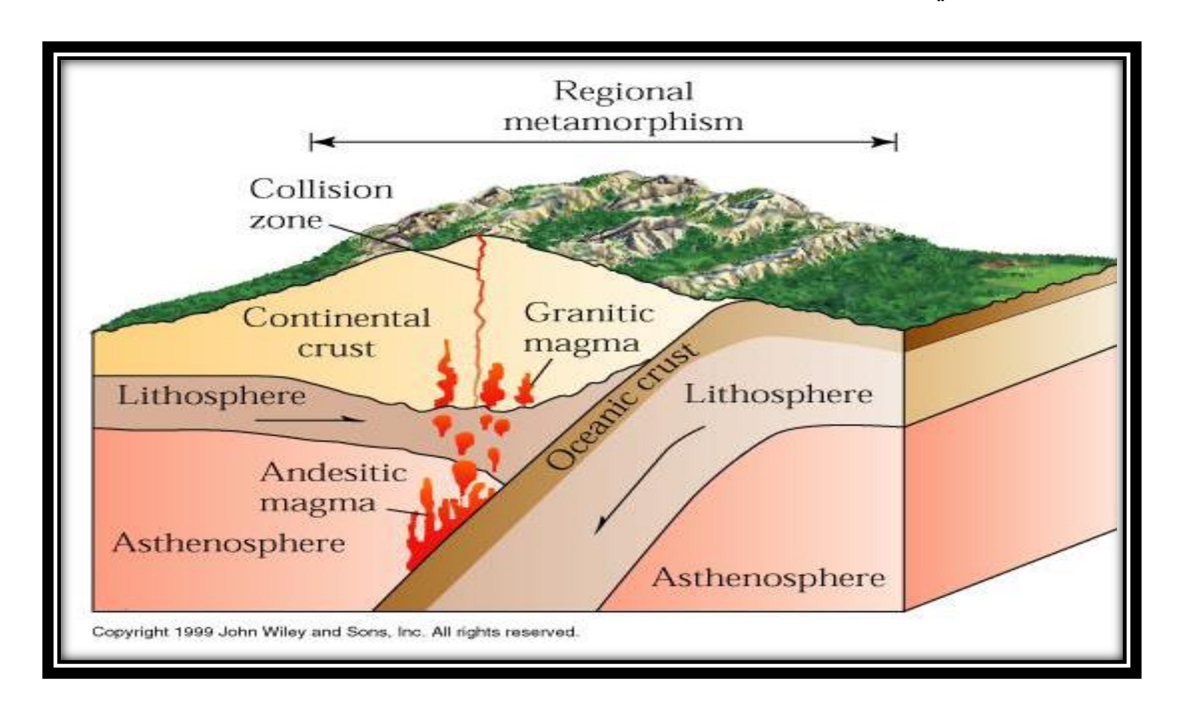
(٣) إن التراكيب النارية ترتبط ارتباطاً مباشراً بالفعاليات التكتونية للقشرة الأرضية والمتمثلة بحركة الأطباق الأرضية.

(٤) إن التراكيب النارية تحتوي على العديد من التراكيب المهمة في الجيولوجيا التركيبية مثل التورق (Foliation) والتخطط (Lineation)، والتي تنتج من عملية التشويه أما أثناء أو بعد حدوث الاختراق.

كيف تتكون التراكيب النارية؟

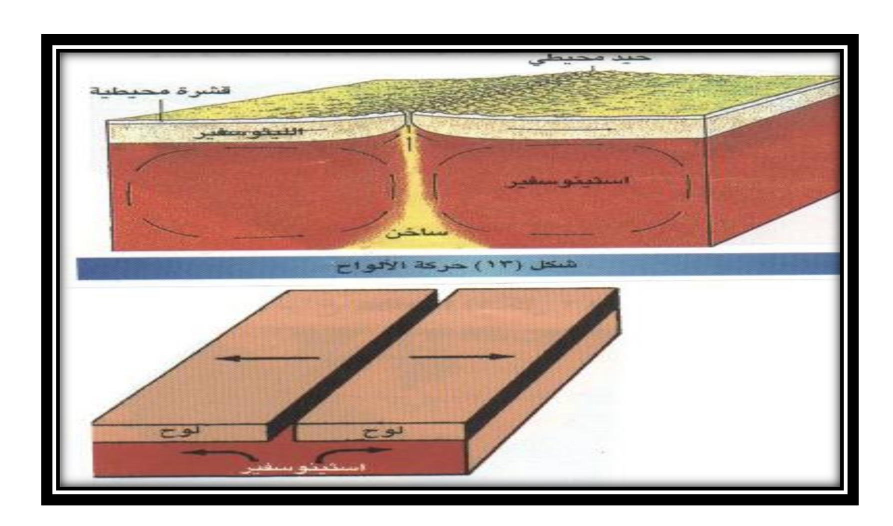
يمكن فهم طبيعة تكون التراكيب النارية من خلال تطبيق مبادئ حركة الأطباق الأرضية والتي تنص على أن الخلاف الصخري للأرض يتكون من مجموعة من الأطباق المقلوبة على سطح الكرة، وهذه الأطباق في حالة حركة مستمرة نتيجة لوجود تيارات الحمل في منطقة الجبة الواقعة أسفل الغلاف الصخري. تكون غرفة الصهير (Magma Chamber) والبراكين (Volcanoes) نتيجة لغوران القشرة المحيطية أسفل القشرة القارية في نطاق تصادم طبقين وتكون ما يعرف بنطاق الغوران (Subduction Zone) وهو النطاق الذي ينزل فيه الطبق المحيطي أسفل الطبق القاري (أو أسفل طبق محيطي آخر)، وذلك لكون الطبق المحيطي أكثر

كثافة من الطبق القاري. في نطاق الغوران هذا يذوب الطبق المحيطي الغائر عند عمق (١٠٠-٢٠٠ كم) إذابة جزئية نتيجة لنزوله في الغلاف الواهن (Asthenosphere) الساخن، عندئذ يتحول الجزء النازل من الطبق المحيطي إلى صهير ذو كثافة قليلة وحجم كبير، وهذان الصفتان يساعدان الصهير على الصعود نحو الأعلى وتجمعه في داخل الغلاف الصخري. عند تصلب الصهير في داخل القشرة الأرضية فانه سوف يكون ما يعرف بالتراكيب النارية الداخلية،



Ocean – Continent Convergence

أما إذا استمر في صعوده ووصل إلى سطح الأرض وتصلبه عليها فانه سوف يكون ما يعرف بالتراكيب النارية الخارجية. يمكن أن تتكون التراكيب النارية أيضاً في مناطق تباعد طبقين أي في مناطق حواجز وسط المحيط (Mid-Oceanic Ridges) أو في المناطق التي يقترب فيها ريش الجبة (Mantle Plume) من سطح الأرض سواء أسفل القشرة القارية أو أسفل القشرة المحيطية.



تصنيف التراكيب النارية الداخلية:

التراكيب النارية الداخلية (Intrusive Igneous structures) هي كتل من الصخور تشكلت من تصلب الصهير (Magma) أسفل سطح الأرض. وهي تصنف اعتماداً على حجمها وشكلها وعلاقتها بالصخور الأقدم المحيطة بها (Hamblin and Christiansen,1998) إلى صنفين هما: التراكيب النارية الداخلية الثانوية والتراكيب النارية الداخلية الرئيسة (Park,1997).

أولاً: التراكيب النارية الاختراقية الثانوية (Minor Intrusive Igneous Structures):

وهي أجسام نارية ذات أشكال صفائحية (Sheet-Like) أو أنبوبية (Pipe-Like) تتراوح أبعادها من بضعة أمتار إلى عشرات الأمتار، ولا تصل إلى الكيلومترات، وهي على أربعة أنواع رئيسة، هي:

(١) القاطع (Dyke): هو جسم ناري صفائحي الشكل، ومتوازي الجانبين، وغير متوافق مع التراكيب الصخرية المجاورة له، وعادة ذا ميل عالي أي أنه اقرب للوضع الشاقولي. توجد القواطع عادة بشكل مجاميع تسمى حشود القواطع (Dyke Swarm) وهي أما أن تكون شبه متوازية أو شعاعية نسبة لبعضها البعض، ولكن هذا لا يمنع من وجودها بشكل مجاميع مخروطية تميل جميعها باتجاه نقطة مركزية واحدة مرتبطة بمصدر الصهير، وهو في هذه الحالة يعرف بالصفائح المخروطية (Cone-Sheets).

(٢) السد (Sill): هو جسم ناري صفائحي الشكومتوازي الجانبين، ومتوافق مع التراكيب الصخرية المجاورة له، وعادة ذا ميل قليل أي أنه اقرب إلى الوضع الأفقي.

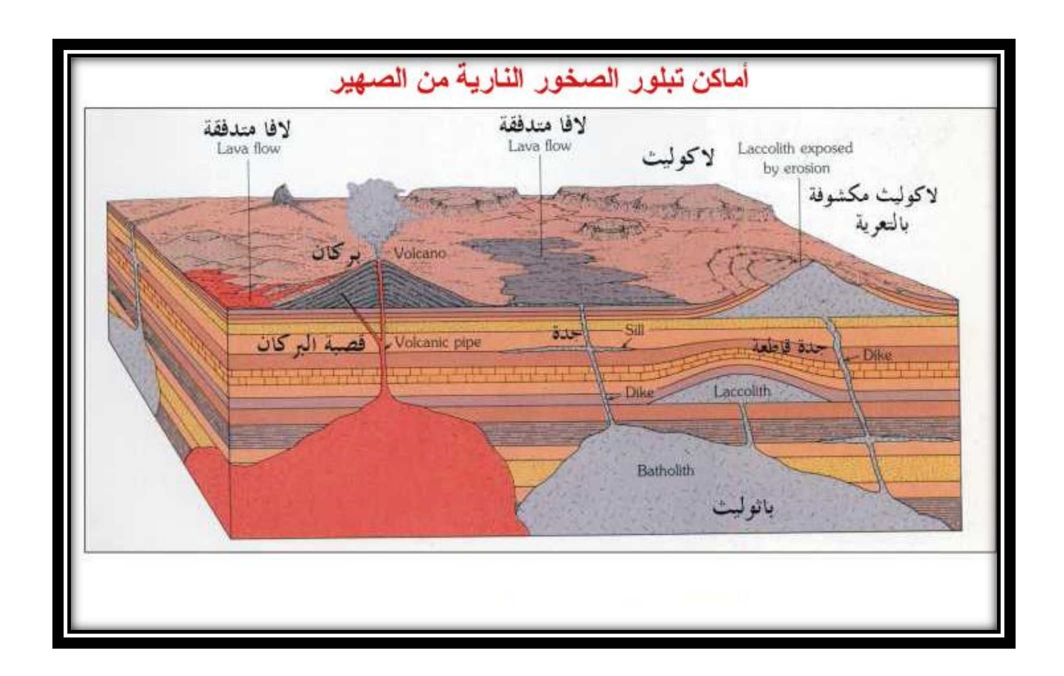
(٣) السدادة (Plug): هي جسم ناري أنبوبي الشكل، يتراوح قطرها من (١٠٠ ـ ١٠٠٠) متر، وهي عادة ما تكون العنق البركاني (Neck of Volcano).

(٤) العرق (Vein): هو جسم ناري صغير عرضه بضع سنتمترات أو أمتار قليلة، ذو شكل صفائحي أو غير منتظم، وهو عادة ما يشكل فروع أو أذرع لأجسام نارية أكبر.

ثانياً: التراكيب النارية الاختراقية الرئيسة (Major Intrusive Ign eous Structures):

وهي أجسام نارية واسعة مختلفة الأشكال والأحجام تشغل العديد من الكيلومترات المكعبة. وهذا النوع من التراكيب يدعى بالبلوتون (Plutons) الذي إذا وجد بأحجام كبيرة تزيد عن مئات من الكيلومترات فانه يعرف بالباثوليث (Batholiths)، إذ أن الباثوليث يتكون من مجموعة من البلوتونات المفردة ذات الأشكال المختلفة. والباثوليث يتكون بصورة نموذجية من صخور الكرانيت (Granite) التي قد تتضمن مجموعة واسعة من أنواع الصخور المختلفة. تُقسم التراكيب النارية الرئيسة إلى قسمين هما التراكيب المتوافقة والتراكيب غير المتوافقة.

(١) **التراكيب المتوافقة** (Concordant Structures): وهي الأجسام النارية الاختراقية التي تكون متوافقة مع الطبقات الصخرية العليا، أي أنها لا تقطعها بل تكون موازية لها، وهي على نوعين، هما:



. **<u>اللاكوليث (Laccolith):</u>** وهي أجسام نارية واسعة تتخذ شكلاً عدسياً (Lensoid-Shaped)، وتكون متوافقة مع الطبقات الصخرية التي تعلوها، وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً.

· **<u>اللابوليث (Lopolith):</u>** وهي أجسام نارية واسعة تتخذ شكلاً شبيهاً بصحن الشاي (Saucer-Shaped)، إذ يكون مقعراً في الأعلى ومحدباً في الأسفل، ويكون متوافقاً مع الطبقات الصخرية المحيطة به.

(٢) <u>التراكيب غير المتوافقة</u> (Discordant Structures): وهي أجسام غير منتظمة في شكلها، ولكنها على العموم تظهر بشكل دائري أو بيضوي في المقطع المستوي وذات جدران قليلة الميل، وهي على ثلاث أنواع، هي:

· **<u>المقبض أو الرئيس (Stock or Boss):</u>** وهي أجسام نارية ذات قمة قبابية الشكل، أما قاعدتها فغير معروفة العمق، وجوانبها تتقاطع مع الطبقات الصخرية المجاورة.

· **<u>الدايبير (Diapir):</u> وهي أجسام نارية تشبه قطرة الدمع أو الكمثرة (Tear-Drop or Pear-Shaped)، إذ تكون منتفخة نحو الأعلى والأسفل مع عنق ضيق نسبياً.**

· **<u>القاطع الحلقي (Ring Dyke):</u>** وهي أجسام نارية تتخذ شكلاً حلقياً في المقطع المستوي، وذات جدران عالية الميل، وهي مترافقة عادة مع المقبض (Stock) أو مجموعة القواطع الشعاعية (Radial dyke swarms).

- البلوتونات :

تسمى كل الأجسام المتداخلة من الصخور النارية، بغض النظر عن حجمها وشكلها، بالبلوتونات. ويتراوح حجم هذه الأجسام بين عدة سنتيمترات مكعبة ومئات الكيلومترات المكعبة. ومن السهل الوصول لهذه الأجسام حين تظهر على سطح الأرض نتيجة عمليات الرفع والتعرية لصخور القشرة الأرضية، أو حين تقطعها الآبار العميقة أو المناجم. وتختلف البلوتونات ليس في الشكل والحجم فقط، بل في علاقتها بالصخور المحيطة أيضا. وجدير بالملاحظة أن بعض الجيولوجيين يقصرون استخدام مصطلح بلوتون على الأجسام النارية الكبيرة المتكونة في العمق، ويتراوح حجمها بين كيلومتر واحد ومئات الكيلومترات المكعبة.

ويعكس هذا التنوع الواسع اختلاف طرف تداخل الصهارة أثناء صعودها في القشرة. وتتداخل معظم الصهارات في الأعماق الكبيرة التي تزيد عن ٨ إلي ١٠كم، حيث يتواجد القليل من الكسور أو الفتحات لأن الضغط العالي للصخور التي تعلو الصهارة يغلق مثل هذه الفتحات. ومع ذلك فإنه يتم التغلب على هذا الضغط من الصهارة الصاعدة. وتكون الصهارات الصاعدة مكانا لها في القشرة بواحدة من الطرق الثلاث الآتية:

١ ـ **باقتحام الصخور التي تعلوها**: تقوم الصهارة برفع الوزن الضخم من الصخور التي تعلوها، مما يترتب عليه تكسير هذه الصخور فتقتحمها الصهارة وتنحشر بداخلها. وهكذا تنساب الصهارة داخل الصخور. وقد تتقوس الصخور التي تعلوها خلال هذه العملية.

٢ ـ **كسركتل كبيرة من الصخور**: تشق الصهارة طريقها لأعلى في صخور القشرة المتكسرة، وتسقط كتل من هذه الصخور في الصهارة وتنصهر وتذوب في الصهير، مما قد يؤدي إلي تغير تركيب الصهارة في بعض المناطق، وهو ما يعرف بالتماثل.

٣ ـ **صهر الصخور المحيطة**: قد تشق الصهارة طريقها أيضا عن طريق صهر الصخور المحيطة بها.

وقد توجد أحيانا صخور دخيلة في بعض المتداخلات، والتي تتكون من قطع من صخور المنطقة، وتكون محاطة بالكامل بالمادة المتداخلة. وهذه القطع الصخرية التي كانت طافية في الصهارة المتداخلة ، دليل جيد على اقتحام الصهارة للصخور المحيطة أثناء تكون الجسم الناري.

ويكون لمعظم البلوتونات حدود تلامس حادة مع الصخور المحيطة. كما توجد أدلة أخرى على تداخل هذه الأجسام على هيئة صهارة سائلة في الصخور الصلبة. وقد تتداخل بعض البلوتونات في الصخور المحيطة فتؤدي إلي تكون بعض التراكيب التي تشبه تراكيب الصخور الرسوبية. وتؤدي هذه الظواهر إلي الاعتقاد بأن هذه البلوتونات قد تكونت من صخور رسوبية سابقة، بعملية الجرنتة. والجرنتة هى العملية التي يتكون بها الجرانيت من صخور أخرى سابقة بإعادة التبلور، مع حدوث انصهار كامل أو دون أي انصهار.

- الباثوليثات:

تعتبر الباثوليثات أكبر البلوتونات حجما، حيث تتكون ضخمة غير منتظمة من صخور نارية خشنة التبلور، تغطي ١٠٠كم٢ على الأقل . وتسمى البلوتونات الأصغر بالكتلة الشاخصة أو الاستوك. وعندما تأخذ الكتلة الشاخصة شكلا مستديرا فإنها تعرف بالحدبة. وتكون كل من البلوتونات والكتل الشاخصة عبارة عن متداخلات غير متطابقة، أي تقطع طبقات الصخور المحيطة التي تتداخل فيها هذه الأجسام النارية.

وتتواجد الباثوليثات في لب سلاسل الجبال المشوهة تكتونيا (بنائيا). ولقد أظهرت المشاهدات الحقلية أن الباثوليثات عبارة عن أجسام تشبه الفرش الأفقية، أو أجسام سميكة مفصصة تمتد من جزء أوسط يشبه القمع. وقد تمتد أعماق الباثوليثات إلي ١٠ أو ١٥كم، بينما قد يمتد بعضها الآخر إلي أعماق أكبر. ويظهر التبلور الخشن لصخور الباثوليثات، أنها تتبلور في أعماق كبيرة، ونتيجة تبريد بطيء.

- الجدد الموازية والقواطع :

تختلف الجدد الموازية والقواطع عن الباثوليثات في جوانب عدة، منها أنها تكون أصغر حجما، كما ترتبط بالصخور المحيطة بها بعلاقات مختلفة. والجدد الموازية عبارة عن متداخلات متطابقة، أي تكون حدودها موازية للطبقات المحيطة بها. وتتكون من أجسام مسطحة (صفائح) منبسطة مستوية الأسطح تكونت نتيجة حقن الصهارة في صخور سابقة متطبقة وبين طبقتين متوازيتين . ويتراوح سمك الجدة الموازية بين سنتيمترات قليلة ومئات الأمتار، كما قد تمتد هذه الجدد لمسافات بعيدة.

وتعتبر القواطع هى الطرق الرئيسية لانتقال الصهارة في القشرة. وهى تشبه الجدد الموازية في أنها أجسام نارية مستوية السطح، إلا أن القواطع تقطع طبقات الصخور المحيطة . أما الجدد الموازية فتكون موازية لها. وتتكون القواطع أحيانا نتيجة الحقن في كسور قديمة موجودة قبل الحقن، إلا غالبا ما تفتح قنوات (فتحات) خلال كسور جديدة تحت ضغط الحقن الصهارى.

وجدير بالذكر أن بعض القواطع يمكن تتبعها لعشرات الكيلومترات. ويتراوح سمك القواطع من عدة أمتار إلي سنتيمترات قليلة.

ونادرا ما توجد القواطع مفردة، حيث تتواجد عادة في أعداد كبيرة، أو على هيئة حشود مكونة من مئات أو آلاف القواطع . وقد تكون هذه المجموعات من القواطع متوازية، أو شعاعية أو متجاوزة حيث قد تكون خرجت من مصدر صهاري واحد.

يشبه اللاكوليث الجدة الموازية في أن الجدة تتكون من حقن الصهير بين طبقتين من الصخور الرسوبية قرب سطح الأرض. أما اللاكوليث فيتكون من صهير غني بالسيليكا، مميز بدرجة لزوجة أعلى من الصهارات المافية. لذلك فإنه يتجمع على هيئة كتلة عدسية الشكل تشبه فطر عيش الغراب، وتعمل على تقوس الصخور التي تعلوها. أما قاع اللاكوليث فيكون مسطحا. ويتراوح قطر اللاكوليث من ١ إلي ٨كم. ويصل أقصى سمك لها إلي نحو ١٠٠٠كم. وقد تأخذ الأجسام النارية شكل طبق تحت سطح الأرض، وتعرف حينئذ باللوبوليث، أو تأخذ شكل سرجاً وتعرف بالفاكوليث.

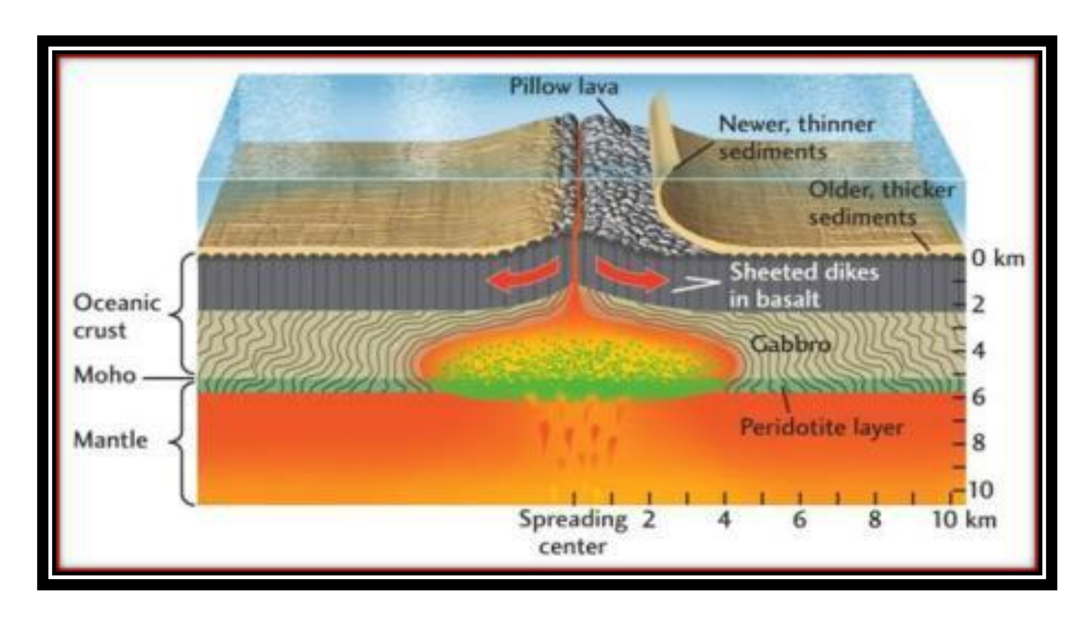
– العروق :

العروق عبارة عن رواسب من المعادن مرتبطة بالأجسام النارية القريبة وتكون غريبة عن الصخور المحيطة بها. وهى تشبه القواطع في أنها تملأ فراغات الصخور المحيطة. وقد تنشأ العروق على هيئة أجسام غير منتظمة أو على شكل صفائح منبسطة أو مستدقة مثل القلم، تتفرغ من قمة وجوانب عديد من المتداخلات النارية. ويتراوح عرض العروق بين عدة ميليمترات وعدة أمتار، بينما يتراوح طولها بين عشرات الأمتار والكيلومترات. وأكثر أنواع العروق شيوعا عروق الكوارتز، حيث يكون معدن الكوارتز معظم العرق، بالإضافة إلي بعض الكبريتيدات والفلزات العنصرية مثل الذهب أو الفضة التي تتواجد بنسب ضئيلة للغاية. وتسمى العروق المتكونة من صخور الجرانيت خشنة التبلور جدا بالبجماتيت حيث تبلغ البلورات عدة سنتيمترات أو حتى عدة أمتار طولا. وتتبلور تلك العروق في المراحل النهائية لتصلب صهارة غنية بالماء. وتحتوي البجماتيت على خامات من العناصر النادرة والفلزات الثقيلة.

وتكون بعض العروق ممتلئة بالمعادن التي تحتوي على كميات كبيرة من الماء المرتبط كيميائيا بالمعادن، والتي تتبلور من محاليل مائية ساخنة. وتظهر التجارب المعملية أن هذه المعادن تتبلور عند درجات حرارة مرتفعة تتراوح بين ٢٥٠ إلي ٣٥٠م، وهى درجة أقل من درجة حرارة الصهارات عموما. ويوضح تركيب المعادن في هذه العروق الحرمائية (من الكلمة اليونانية hydro بمعنى ماء، و thermal بمعنى حرارة) أن الماء كان متواجدا بوفرة أثناء تكون العروق. وسيتم مناقشة العروق الحرمائية وما تحويه من خامات ذات قيمة اقتصادية .

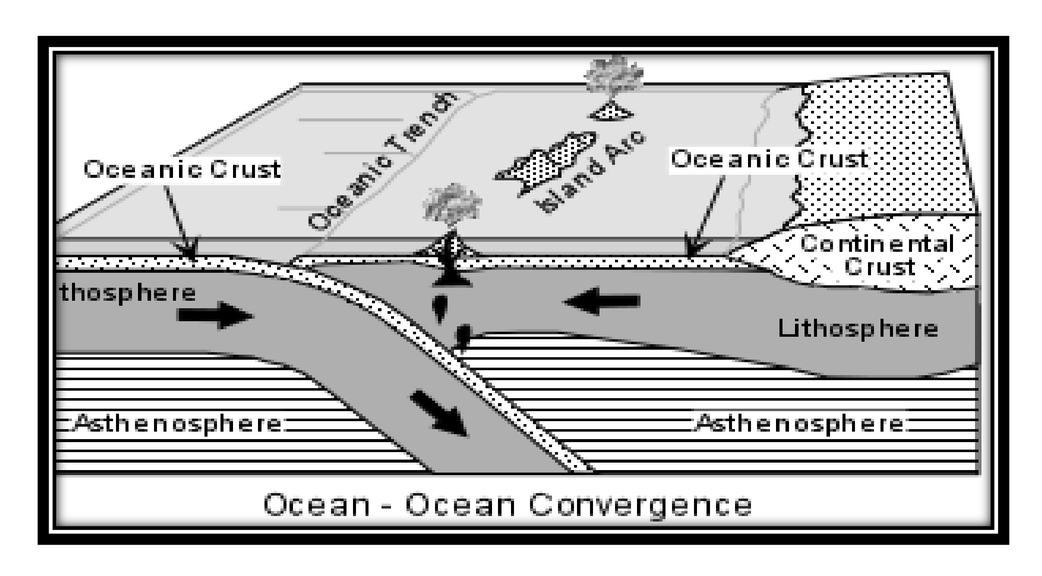
– النشاط الناري وتكتونية اللواح :

هناك نوعان من حدود الألواح يصاحبها تكوين الصهارات وهى **حيود وسط المحيط** حيث يتباعد لوحان ويحدث انتشار لقاع المحيط ، ونطاقات الاندساس حيث يؤدي تقارب لوحين إلي أن يندس أحدهما تحت الآخر . وتتواجد معظم أماكن تكون الصخور النارية عند نطاقات التباعد – أي عند حيود وسط المحيط- حيث يتكون البازلت نتيجة الانصهار الجزئي للوشاح ويصعد مع تيارات الحمل الدورانية الصاعدة. وتنبثق الصهارة على هيئة لابات، يتم تغذيتها من غرف الصهارة أسفل محور حيود وسط المحيط، بينما تقتحم (تتموضع) متداخلات صخور الجابرو في الوقت نفسه ولكن في أعماق أكبر.



الصخور النارية عند سلاسل جبال وسط المحيط. بناء قشرة محيطية بازلتية جديدة مع تكون التراكيب الوسائدية. يتضح من هذا الشكل أن التتابع الصخري لقاع المحيط يتألف من طبقة رقيقة من الصخور الرسوبية يقع أسفلها صخور بازلتية ومن ثم صخور الكابرو وأخيراً طبقة من البيريدوتايت.

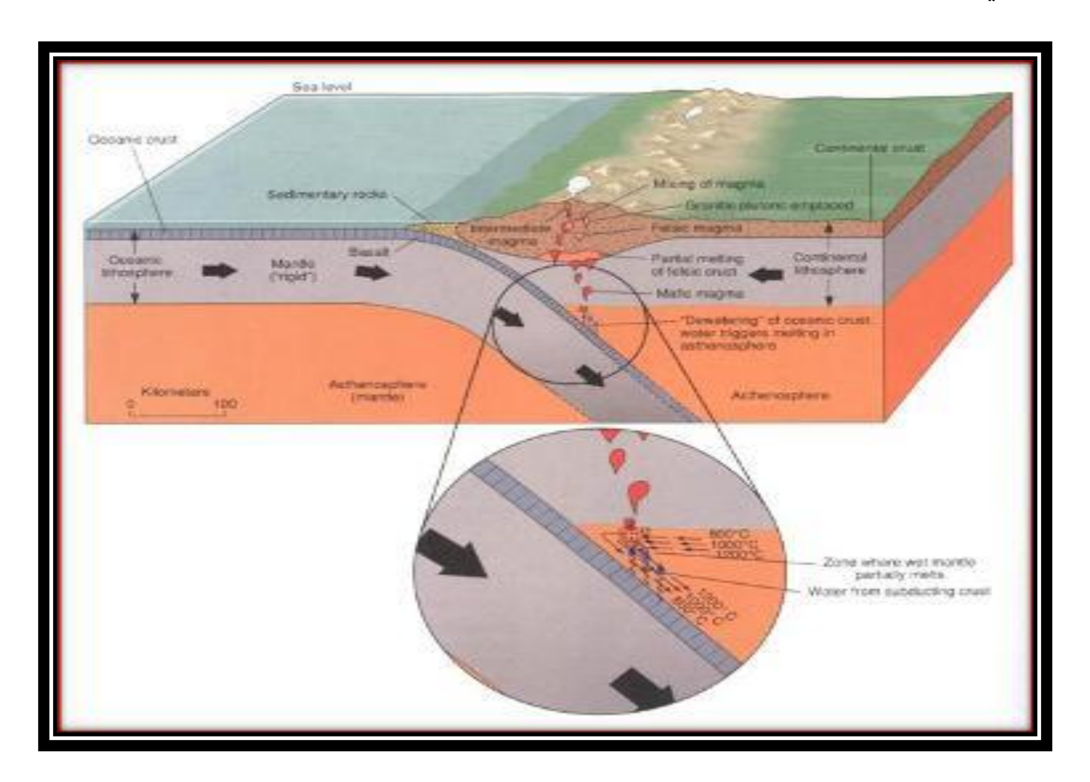
أما نطاقات الاندساس حيث يندس لوح تحت آخر، فهى أكثر مواقع انصهار الصخور. حيث تحتوي قمة اللوح الصخري المندس على قشرة محيطية متكونة أساساً من البازلت الذي نشأ أصلاً عند حيود وسط المحيط ، وبالإضافة إلي ذلك يحمل اللوح الماء ورسوبيات محيطية لينة تجمعت أثناء حركة اللوح من حيد وسط المحيط إلي نطاق الاندساس. ويقابل اللوح أثناء حركته إلي أسفل درجات حرارة متزايدة وضغط مما يؤدي إلي تحول الرسوبيات أولاً إلي صخور رسوبية ثم إلي صخور متحولة عند الأعماق الأكبر. وحيث إن هذه الصخور تحتوي على كميات كبيرة من الماء، لذلك فإن هذه المواد تتميز بدرجات انصهار أقل من درجة انصهار القشرة أو الوشاح الجافين اللذين لا يحتويان على هذه الكميات من الماء. وعندما يتحرك اللوح الصخري إلي أعماق أكبر ترتفع درجات الحرارة حتى تصل إلي درجة انصهار الصخور الرسوبية أو الصخور المتحولة. وباستمرار الحركة إلي أسفل، يقابل اللوح في النهاية درجات حرارة كافية لصهر الأجزاء العلوية من البازلت. وهكذا، فإن الاندساس يؤدي إلي تكون صهارة، أو ربما عدة صهارات مختلفة الأنواع.



وحينما تتصاعد الصهارات والماء الناتجة من التفاعلات التي تؤدي إلي انتزاع الماء من قمة اللوح المندس المنصهر، فإنها قد تسبب انصهار أجزاء من اللوح العلوي فوق نطاق الاندساس وتغير تركيبه. كما قد تتمايز الصهارات بالتبلور التجزيئي، ويتكون نتيجة لذلك صخور نارية متداخلة ومنبثقة (بركانية). وتنبثق من البراكين فوق الأجزاء العميقة من نطاق الاندساس لابات بازلتية وأنديزيتية وريوليتية وفتات ناري، مكونة بذلك أنواعا عديدة من الصخور البركانية. وتكون هذه البراكين والبركانيات المندفعة منها أقواس جزر محيطية بركانية مثل جزر الإليوشان في ألاسكا.

أما إذا حدث الاندساس أسفل قارة، فإن عديداً من كتل البراكين والصخور البركانية تلتحم ببعضها بعضا لتكون قوسا بركانيا (قوس جبلي) على الأرض. ومن أمثلة اندساس لوح محيطي أسفل آخر قاري تكون سلسلة جبال الأنديز والكاسكيد المتواجدة على هيئة قوس من البراكين النشطة، تضم

بركان جبل سانت هيلين ف **البيئية** ي شمال كاليفورنيا، وأوريجون وواشنطن. وبينما تتكون الجبال فوق القارات، تتبلور الصهارات المتداخلة في الأعماق لتكون صخورا نارية تتراوح من المافية إلي الفلسية تبعا لتركيب الصهارة ودرجة التمايز.



تكون الصهير عند الحافات التقاربية. الصهير القاعدي (Mafic) يتولد في الغلاف الضعيف فوق الغلاف الصخري المحيطي الغائر، أما الصهير الحامضي (Felsic or Silicic) فيتكون أسفل القشرة. الإذابة الجزئية للصخور فوق القاعدية (Ultramafic) المبللة تحدث في نطاق درجة حرارته أكثر من (١٠٠٠ درجة مئوية) .(Plummer *et al*., 2003)

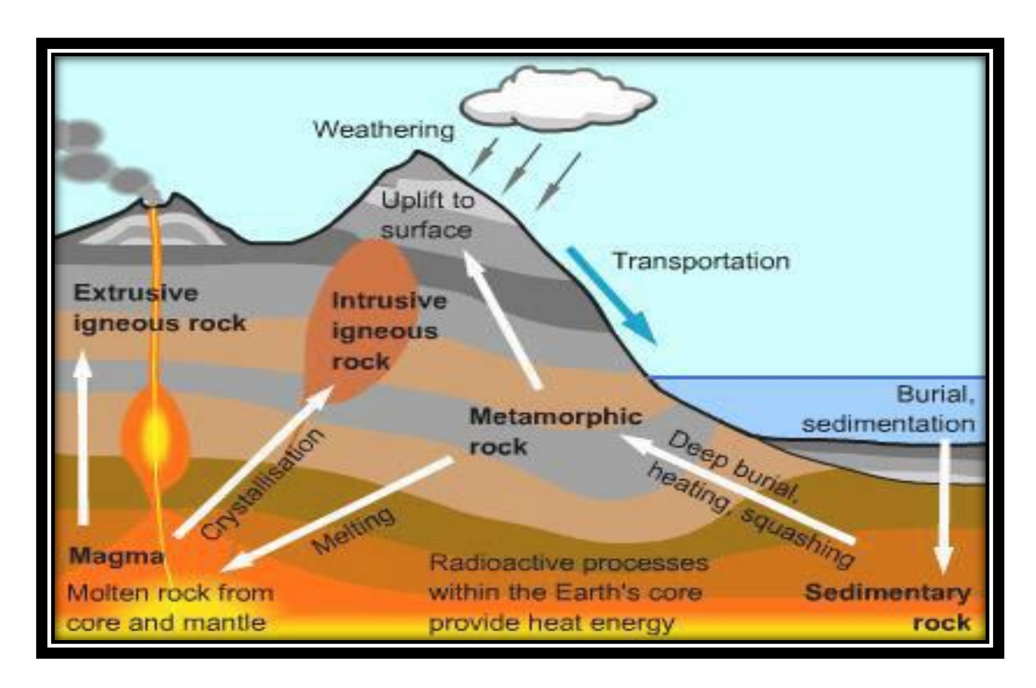
وتعتبر جزر اليابان مثالاً للمتداخلات والانبثاقات المعقدة التي تكونت وتطورت في نطاق اندساس عبر ملايين السنين. وفي كل مكان من هذا البلد الصغير، توجد كل أنواع الصخور النارية المنبثقة من أعماق مختلفة، والتي تداخلت مع صخور بركانية متحولة وصخور متداخلة متوسطة ومافية وصخور رسوبية تكونت نتيجة تعرية الصخور النارية.

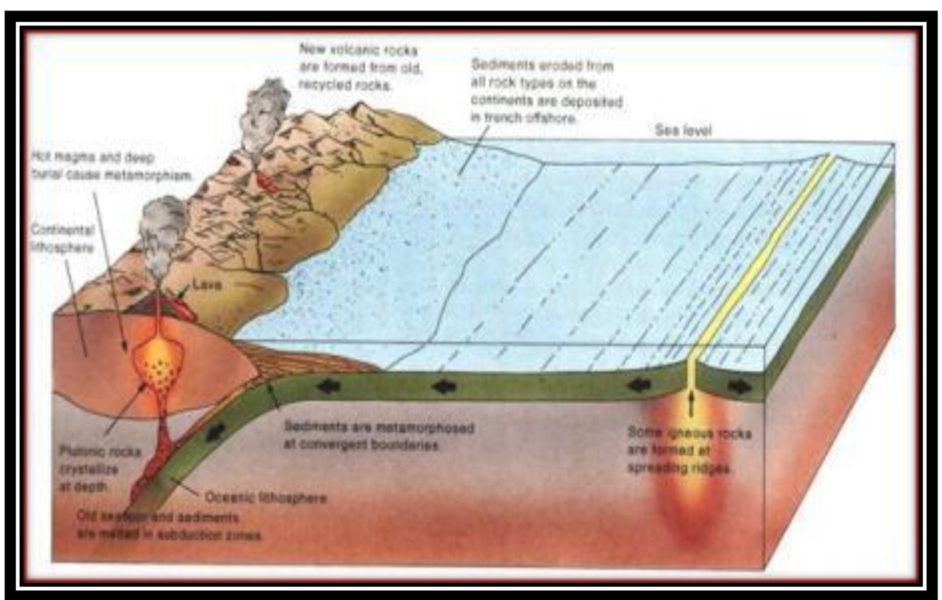
بلومات الوشاح: يعتقد العلماء أن النقاط الساخنة تمثل تعبيرا عن البلومات الصاعدة باستمرار والمسئولة عن تدفق كميات ضخمة من البازلت، حيث يتواجد هذا البازلت فوق بعض القارات بعيدا عن حدود الألواح في تتابعات سميكة مماثلة لتلك الموجودة عند حيود وسط المحيط. ومن أمثلة هذا البازلت، ذلك الموجود في ولايات واشنطن وأوراجون وإيداهو في الولايات المتحدة

الأمريكية حيث يغطي البازلت مساحات شاسعة، نتيجة تدفق اللابات لملايين السنين. كما انبثق أيضا كميات كبيرة من البازلت من جزر بركانية منفصلة بعيدا عن حيود الألواح المحيطية، مثل جزر هاواي في وسط اللوح الهاديء. وفي مثل هذه المناطق تصعد البلومات الرقيقة التي تشبه

ريشة الرسام أو قلم الرصاص، من صهارات البازلت الساخنة من أعماق الوشاح، وربما من أعماق تصل إلي قرب الحد بين اللب والوشاح.

والخلاصة أن صهارات البازلت تتكون في الأجزاء العليا من الوشاح أسفل حيود وسط المحيط، وفي الأجزاء السفلى من الوشاح أسفل النقاط الساخنة داخل الألواح. وتتكون صهارات مختلفة التركيب في نطاقات الاندساس اعتمادا على كمية المواد الفلسية والماء الذي تساهم به الصخور فوق نطاق الاندساس في الصخور المنصهرة.





الفصل الرابع: الرواسب والصخور الرسوبية



تغطي الرواسب sediments والصخور الرسوبية sedimentary rocks ما يزيد على ٧٥% من سطح القشرة الأرضية. وهي توجد على هيئة طبقات تكونت من حبيبات مفككة من الحطام الصخري (الأديم) regolith أو من مواد مذابة نشأت نتيجة تجوية الصخور القارية ثم تم ترسيبها. وتعتبر الرواسب وكذلك الصخور الرسوبية التي نشأت منها سجلا للظروف التي كانت سائدة وقت ترسيبها ولذلك فإنها تستخدم في استنتاج البيئات القديمة والظروف التي كانت سائدة وقت تكونها اعتمادا على محتواها المعدني والحفري وأنسجتها والتراكيب التي توجد بها بالإضافة إلي أماكن الترسيب على سطح الأرض.



إنّ الصّخور الرّسوبيّة من أصل خارجيّ ولذلك تعرف بالصّخور الخارجيّة المنشأ. وقد نشأت بفعل المواد المودعة في أعماق البحار والبحيرات أو المواد المودعة على السّطح والصّادرة عن التّفتّت الكيميائي والآلي لصخور أخرى، أو المواد الّتي تنقلها المياه والرّياح، أو المواد الصّادرة عن تكتّل العناصر المتبقّية من أجسام الحيوانات ومعلوم أنّ الإيداع والنّقل والتّكتّل كلّها ظواهر كثيرة البطء. ولذلك فإنّ بنية الصّخور الرّسوبيّة تظهر على شكلها المنضدّ.

وتهتم كثير من الدراسات البيئية بالعمليات الرسوبية لأنها تمدنا بالمعلومات الأساسية لفهم البيئة حيث إن كل العمليات الرسوبية تحدث على سطح الأرض حيث يعيش الإنسان لذلك فهى مهمة

لفهم المشاكل البيئية التي تحدث حولنا. وعلى الرغم من أن دراسة الصخور الرسوبية قد بدأت منذ مئات السنين إلا أن الدراسات البيئية لم يبدأ الاهتمام بها إلا منذ بداية عام ١٩٦٠م.

وترجع أهمية دراسة الرواسب والصخور الرسوبية بالإضافة إلي ما سبق إلي قيمتها الاقتصادية الكبيرة. فتحتوي هذه الصخور على النفط والغاز والفحم ومعظم مصادر الطاقة ذات القيمة مثل

اليورانيوم الذي يستخدم في الطاقة النووية. كما أن صخور الفوسفات المستخدمة في التسميد هى صخور رسوبية مثلها مثل كثير من خامات الحديد في العالم ذات الأصل الرسوبي. ويساعد التعرف على كيفية تكون هذه الأنواع من الصخور في استكشاف مصادر اقتصادية إضافية أكثر أهمية.

وسنناقش في هذا الفصل العمليات الجيولوجية التي تؤدي إلي تكوين الرواسب والصخور الرسوبية مثل التجوية والنقل والترسيب وتغيرات ما بعد الترسيب (التخلق). كما سنوضح التركيب المعدني والأنسجة وتراكيب الرواسب والصخور الرسوبية، وكيفية استخدام تلك الخواص في تعرف أنواع البيئات التي ترسبت فيها. كما سيتضح كيف يعتمد تفسير أصل الرواسب والصخور الرسوبية على مبدأ الوتيرة الواحدة uniformitarianism، والذي ينص على أن "الحاضر مفتاح الماضي"، أي يمكن تفسير الأحداث الجيولوجية التي وقعت في الماضي من دراسة الظواهر والأحداث التي تقع في الحاضر. كما سنناقش في هذا الفصل العلاقة بين عمليات الترسيب وتكتونية الألواح.

الخصائص العامة للصخور الرسوبية:

- صخور هشة.
- وجود حفريات.
- -تتكون من حبيبات مستديرة أو من بلورات معدنية.
- تحوي كثير من الخامات المعدنية.
- ألوان فاتحة.
- لها تراكيب خاصة : علامات النيم، شقوق الطين.
- توجد في هيئة طبقات تتميز عن بعضها باللون والسمك والنسيج وقد تكون أفقية أو مائلة أو مجعدة.
- تحتوي على المستحاثات (الحفريات) الكبيرة والصغيرة (المجهرية).
- احتواء بعضها على مسام ذات أهمية كبرى في تخزين البترول والغازات الطبيعية والمياه الجوفية المشبعة بالمواد المعدنية.

المميزات العامة للصخور الرسوبية:

١- توجد في الطبيعة على شكل طبقات متتابعة الأحدث فالأقدم وتختلف هذه الطبقات في اللون والسمك والتركيب.

٢- تحتوي الصخور الرسوبية عادة علي بقايا كائنات حية (أحافير) لأن الظروف التي تكونت فيهاهذه الصخور تسمح بحفظ الكائنات الحية بعد موتها أو أجزاء منها أو ما يدل عليها ولانها ناتجة اصلا عن ترسب الاحافير.
٣- يندر أن تكون الصخور الرسوبية في حالة متبلورة باستثناء الصخور الملحية مثل الأنهيدريت والملح الصخري والجبس ولكنها توجد على هيئة حبيبات متماسكة.
٤- تتميز الصخور الرسوبية بمسامات بين الحبيبات المكونة لها ولهذا فهي تعتبر خزانات طبيعية للنفط والمياه الجوفية والغاز الطبيعي.
٥- تقاوم عوامل التجوية بدرجة أقل من الصخور النارية.

مراحل تكون الصخور الرسوبية:

توجد ثلاث مراحل لتشكل الصخور الرسوبية هي:

١. مرحلة نشوء المادة الأولية.
٢. مرحلة النقل والترسيب.
٣. مرحلة التصخُر أو الدياجينيز.

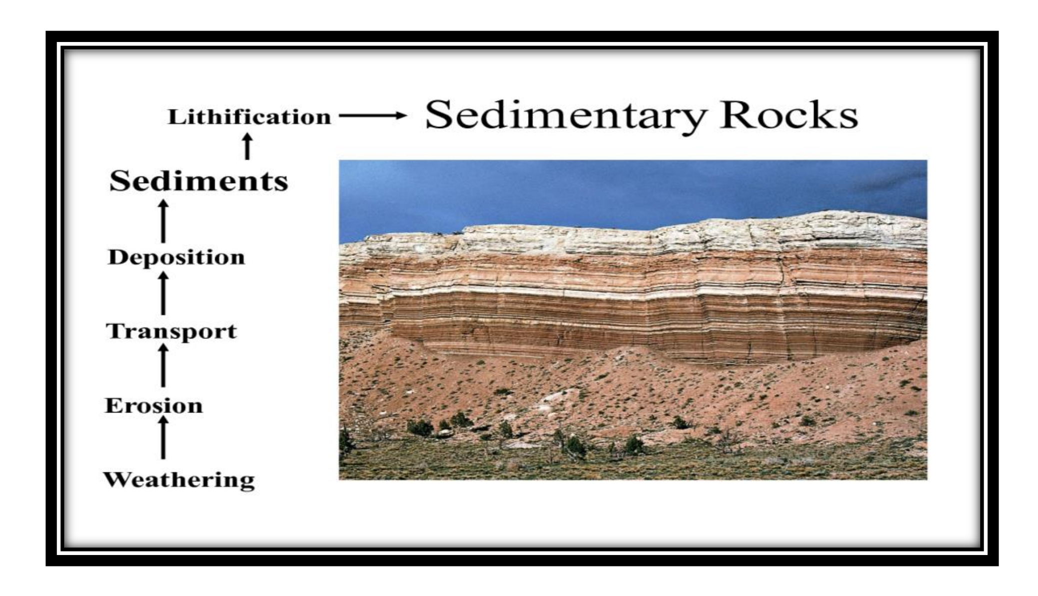
مرحلة نشوء المادة الأولية:

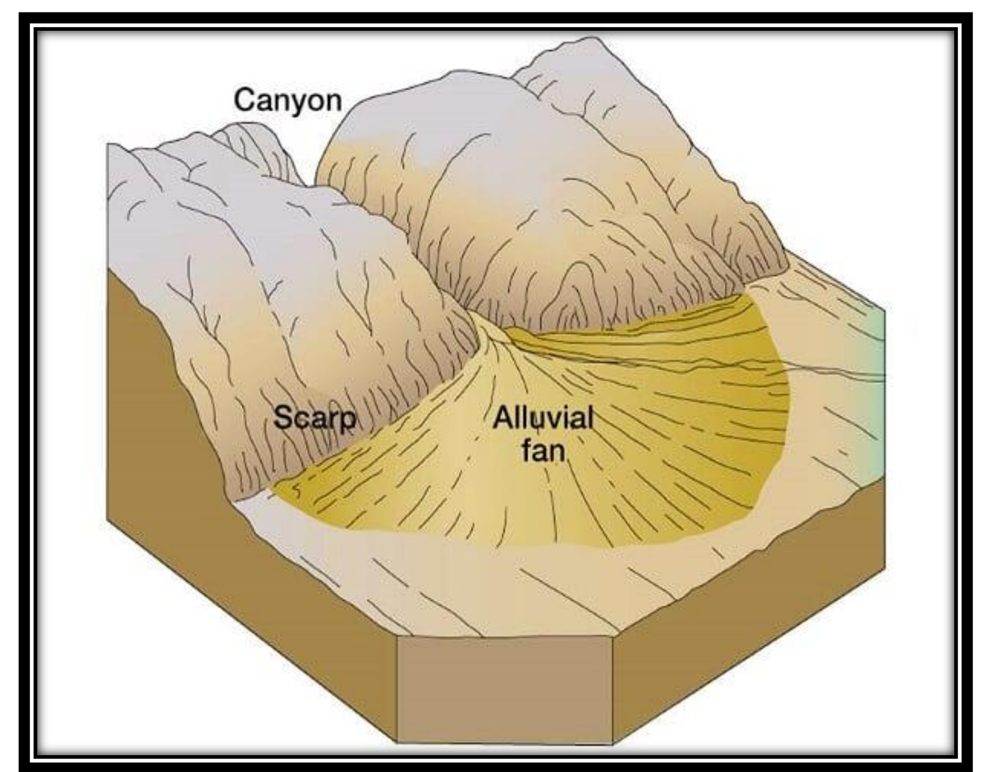
تنشأ المادة الأولية المكونة للصخور الرسوبية عن عمليات التجوية والحت المختلفة.

الصخور الرسوبية صخور تكونت بفعل التفتيت والنقل والترسيب حيث تتكون فراغات بين الطبقات الرسوبية وعندما تتقلص الفراغات في الطبقات الرسوبية تتشكل الصخور الرسوبية. تنشأ هذه الأخيرة من ترسيب المواد المفتتة أو الذائبة في الماء والتي تنتج من تعرض الصخور المختلفة مثل الصخور النارية او الرسوبية أو المتحولة إلى نشاط ميكانيكي حيث تؤدي إلى التفتت الميكانيكى للصخور بسبب عوامل التجوية كالرياح والأمطار والأمواج البحرية وغيرها.تختلف الصخور الرسوبية عن النارية والمتحولة في انها ذات اصول ومناشئ مختلفة بينما المتحولة والنارية ذات اصل ومنشأ واحد. أما التجوية الكيميائية فإنها تؤدي للتحلل الكيميائى لمعظم المعادن المكونة للصخور، ثم تقوم عوامل النقل كالمياه الجارية والرياح والجليد بنقل

المعادن المتحللة والفتات كمكونات صلبة أو ذائبة. ويبدأ ترسيب المواد الصلبة عندما يضعف تيار الماء أو الهواء الحامل لها، أما المواد المذابة فتترسب بعد تبخر الماء المذيب لها وتحدث عملية الترسيب في أماكن كثيرة من أهمها الصحاري وسفوح الجبال وفي السهول الفيضية حول الأنهار وفي البحار والمحيطات والبحيرات حيث تتكون الرواسب الملحية ثم تتماسك الرواسب المفككة لتكون الصخور الرسوبية وتحدث عملية التماسك إما بترسيب مواد لاحمة بين حبيبات الرواسب الخشنة كالحصى والرمال (من المواد اللاجمة الشائعة مثل أكسيد الحديد والسيليكا

وكربونات الكالسيوم) أو تتماسك الرواسب بفعل ضغط الرواسب العليا على ما تحتها من رواسب حيث يتم خروج الماء الموجود بين حبيبات الرواسب فتتصلب وتكون صخورا رسوبية. تنشأ المادة الأولية المكونة للصخور الرسوبية عن عمليات التجوية والتعرية.





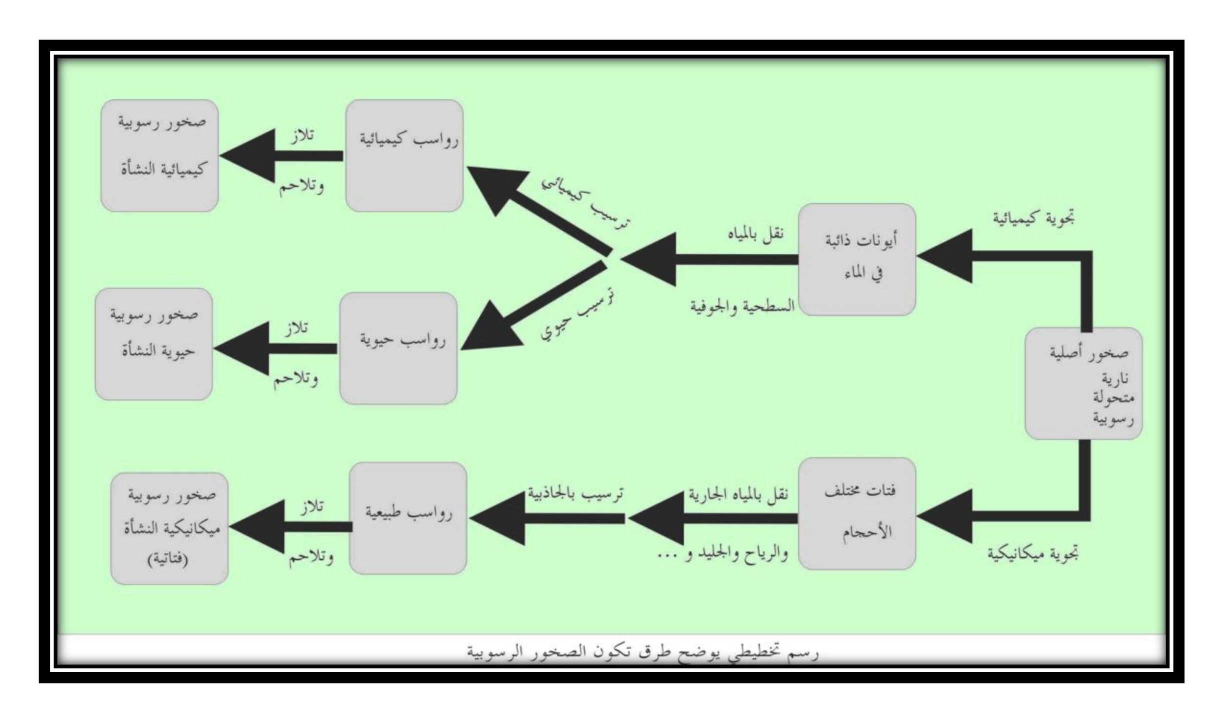
تصنيف الصخور الرسوبية.

أ- **التجوية:**

التجوية هي مجموعة عمليات جيولوجية (فيزيائية وكيميائية وعضوية) تتم على سطح الأرض بصورة رئيسية وتؤدي إلى تغير مجمل خصائص الصخور والفلزات بتأثير فعالية الغلاف الغازي والمائي والحيوي، **تقسم التجوية إلى نوعين رئيسيين**:

- **التجوية الميكانيكية:** وهي التي تؤدي إلى تفتيت الصخور إلى أجزاء دون تغيير تركيبها الكيميائي وتتم بتأثير التغيرات الحرارية، التجلد الإسفيني ونمو البلورات في الفراغات الصخرية.
- **التجوية الكيميائية:** وهي أشد تأثيراً في الصخور لأنها تغير من تركيبها الكيميائي.

ومن أهم عوامل التجوية الكيميائية الماء والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون. من عمليات التجوية الكيميائية الانحلال، ،الإماهة، الأكسدة والإرجاع.



رسم تخطيطي يوضح طرق تكون الصخور الرسوبية

التعرية:

هي عملية طبيعية تؤدي إلى انفصال الصخور أو التربة عن سطح الأرض في بقعة ما وانتقالها إلى بقعة آخرى. وهي تشمل ثلاث عمليات مبدئيه: التجويه، والتآكل، والنقل. وتمتد عملية التعرية، عادة على امتداد آلاف بل ملايين السنين ومع ذلك فإن بعض الأنشطة البشرية مثل التعدين يمكن أن تؤدي إلى الإسراع بحدوثها وقد يستفيد الإنسان من هذه العملية، عن طريق يد المساعدة التي تقدمها في بناء تربة جديدة من الصخور المفتتة. ولقد أدت عملية التعرية أيضاً إلى نشوء تكوينات جيولوجية مثل الصخور الرسوبية.

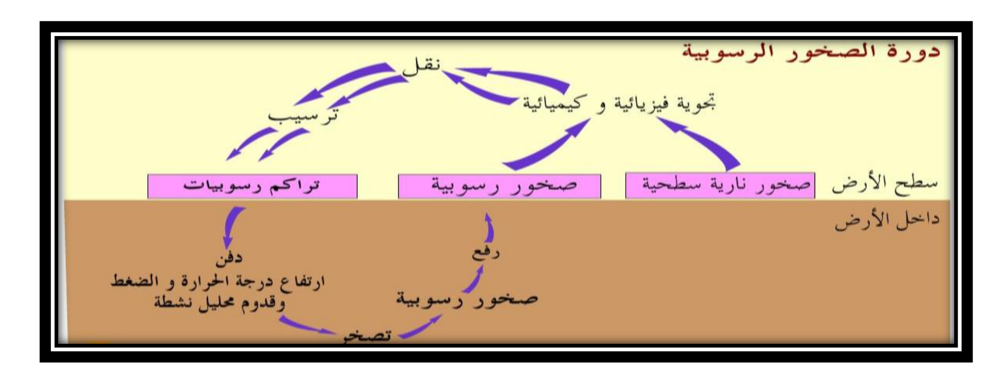
العوامل التي تقوم بالتعريه:

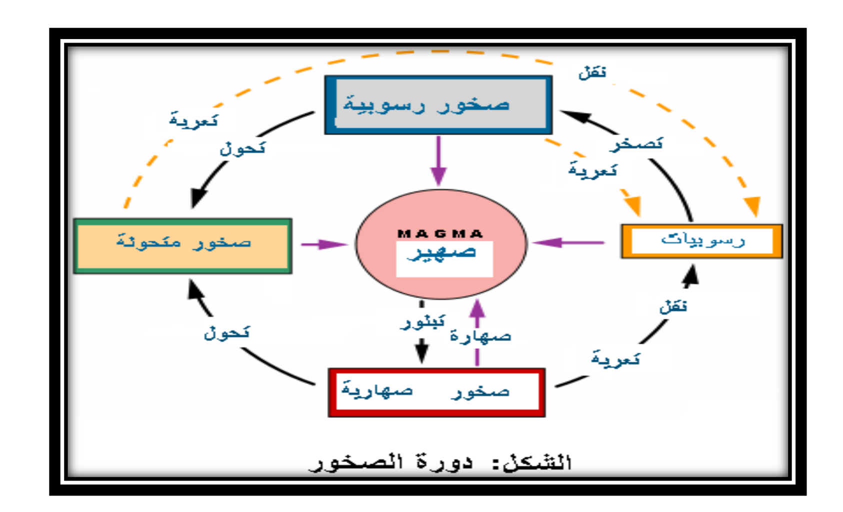
١- الماء.
٢-الهواء.
٣- الأحياء.
٤- تقلب الحرارة.
٥- الرياح.
٦- الثلاجات.
٧- حركات الأرض.
٨- الجاذبية.



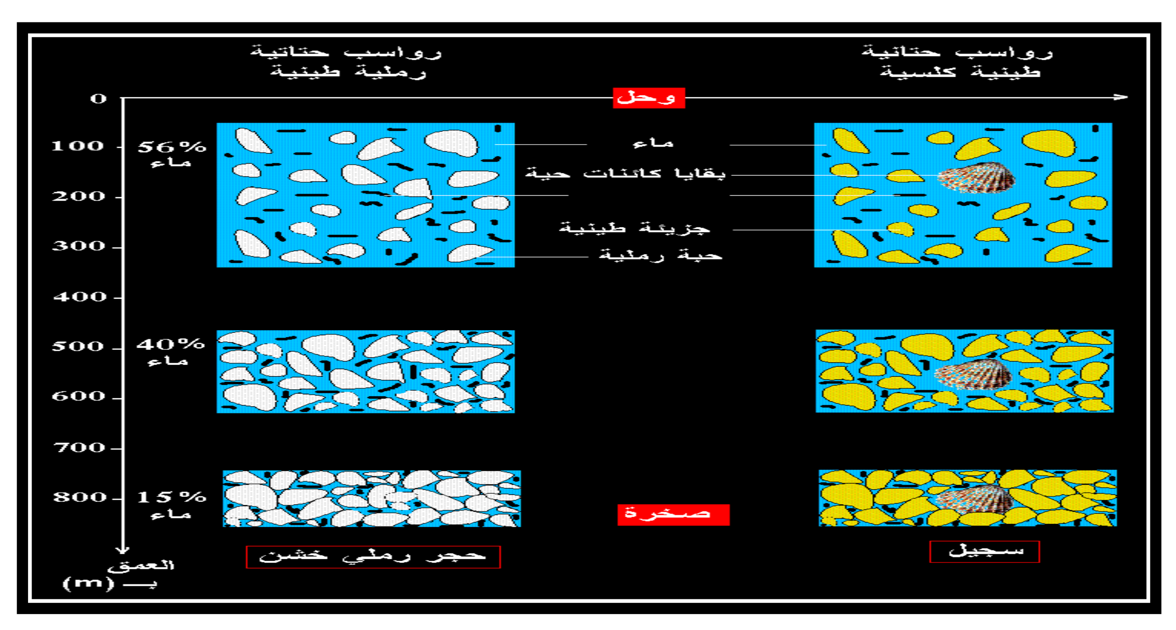
صخور رسوبية .

تمثل الرواسب والصخور الرسوبية التي تتكون منها عناصر مهمة في دورة الصخور. وتقع الصخور الرسوبية في الجزء السطحي من هذه الدورة بين الصخور النارية التي تخرج من الأعماق نتيجة الحركات التكتونية والصخور التي تعود إلي أعماق الأرض لتكون الصخور المتحولة. العمليات العديدة المتداخلة التي تمثل مراحل تكون الصخور الرسوبية في دورة الصخور وهى التجوية والتعرية والنقل والترسيب والدفن وتغيرات ما بعد الترسيب وهى التغيرات الطبيعية (الضغط ودرجة الحرارة) والكيميائية (التفاعلات الكيميائية) التي تتعرض لها الرواسب المدفونة فتتحول إلي الصخور الرسوبية.



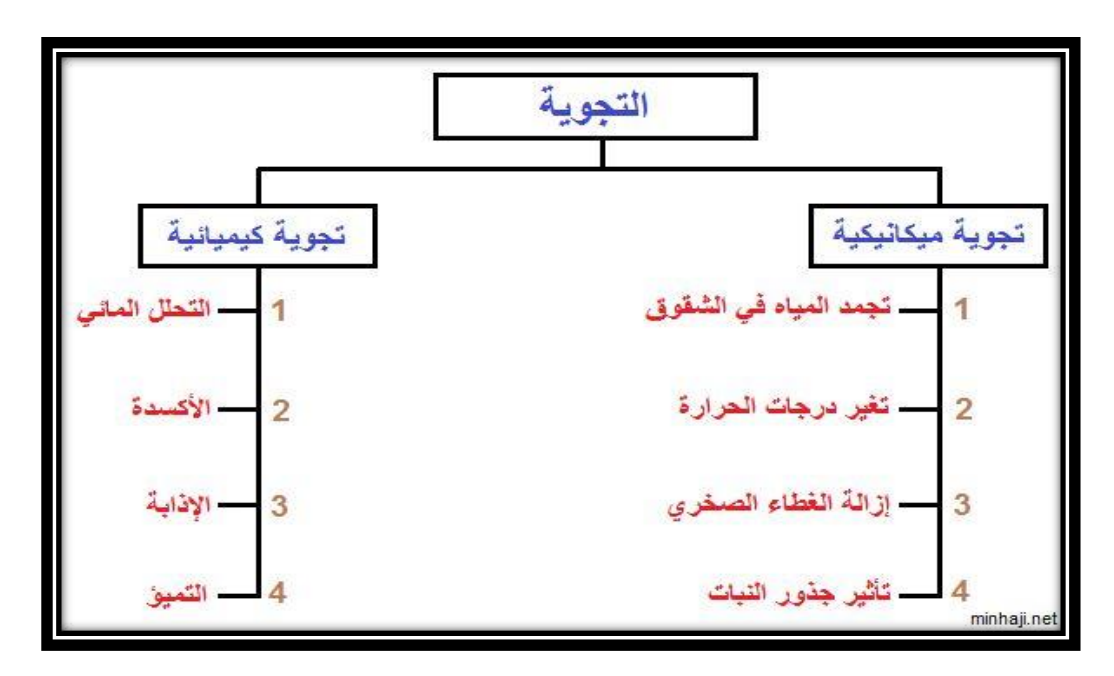






مراحل تشكل الصخور الرسوبية

تؤدي التجوية الميكانيكية والكيميائية للصخور على سطح الأرض إلي تكون المواد الصلبة الفتاتية والذائبة، ثم تقوم عملية التعرية بحملها بعيدا. وينتج عن هذه العمليات ثلاثة أنواع مختلفة من الرواسب هى: الرواسب الفتاتية والرواسب الكيميائية والرواسب الكيميائية الحيوية.

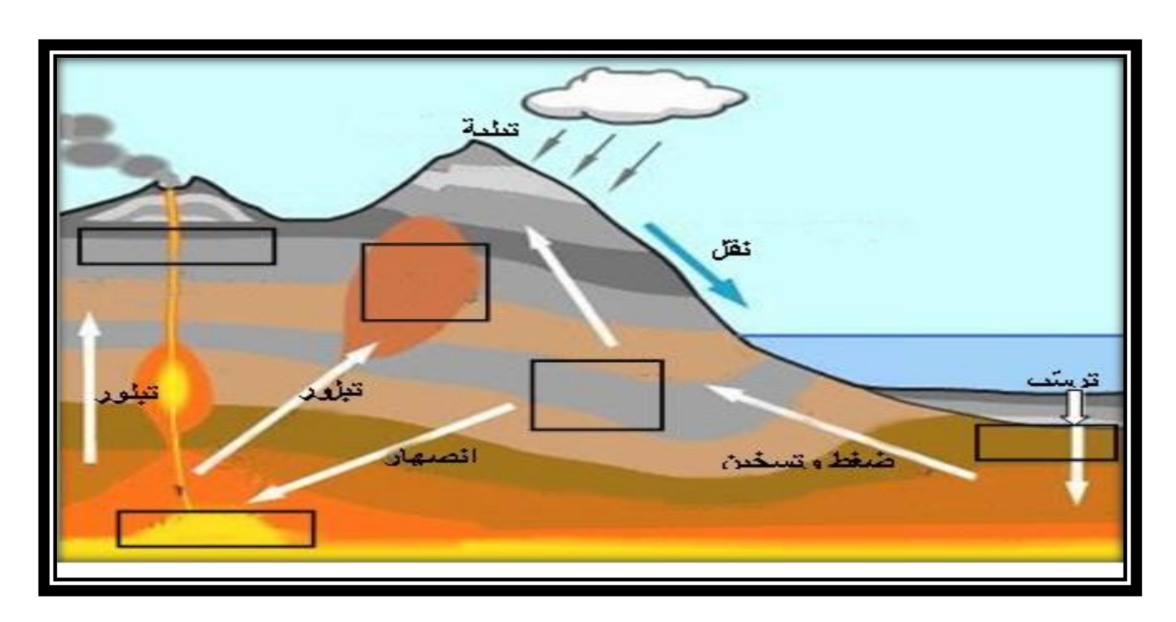


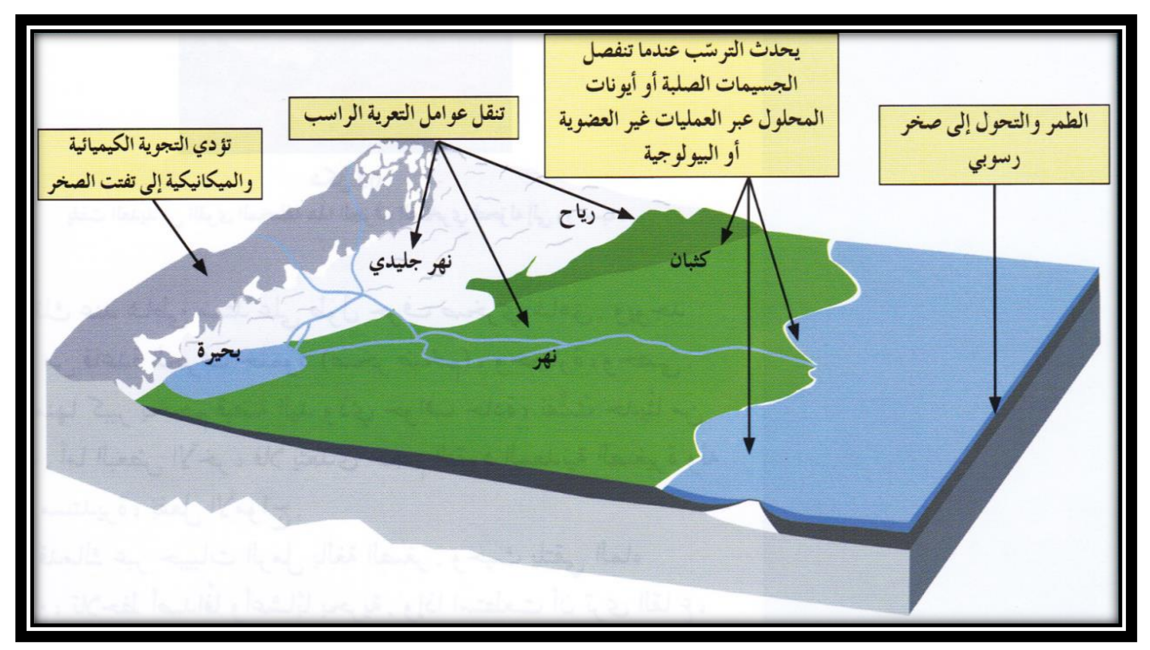


ب – <u>النقل والترسيب:</u> رحلة إلي مواقع الترسيب

تنقل المواد الفتاتية والأيونات المذابة نتيجة التجوية، وأيضا المواد المتكونة كيميائيا أو كيميائيا حيويا إلي مناطق الترسيب، والتي تكون قريبة عادة. وتقوم عوامل النقل المختلفة بنقل المواد على المنحدرات تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية. فالصخور الساقطة من الجرف، والرمال المحمولة بواسطة الأنهار وتجري نحو البحر، وجليد المثالج الذي يجرف فتات الصخور ببطء

على المنحدرات تكون كلها استجابة للجاذبية الأرضية. وعلى الرغم من أن الرياح ربما تذرو المواد من الصخور المنخفضة إلي المرتفعات، فإن الجاذبية على المدى البعيد هى العامل الأكثر تأثيرا، فالرمال والأتربة تترسب استجابة لتأثير الجاذبية الأرضية. وبمجرد أن تسقط الحبيبات إلي المحيط وتترسب خلال الماء، فعندما تكون كما لو كانت دخلت في شرك أو فخ. ويمكن أن تنقل هذه الرواسب مرة أخرى إلي موقع ترسيب جديد على قاع المحيط.





١ – التيارات كعوامل لنقل الحبيبات الفتاتية :

تنقل معظم الرواسب الفتاتية بواسطة تيارات الماء أو الهواء. وتعمل تيارات الماء في الأنهار على نقل كميات هائلة من الرواسب إلي المحيطات، والتي تصل سنويا إلي نحو ٢٥ بليون طن من الرواسب الصلبة والذائبة. كما تحمل تيارات الهواء المواد أيضا، ولكن بكميات أقل بكثير من

تيارات النهار والمحيطات. وبمجرد أن تترك الحبيبات في الهواء أو الماء، فإن التيار يحملها عبر الأنهار أو بالرياح. وكلما كان التيار أقوى – بمعنى أنه أسرع انسيابا – كان حجم الحبيبات المنقولة أكبر.

وتبدأ عملية الترسيب sedimentation للمواد الفتاتية بعد توقف عملية نقل الرواسب. وتلعب الجاذبية الأرضية الدور الحاسم عند ترسيب المواد الفتاتية. وعلى الرغم من أن كل الحبيبات تسقط على الأرض بنفس السرعة بصرف النظر عن حجمها حسب قوانين الفيزياء، إلا أن الحبيبات الكبيرة تترسب بمعدل أسرع من الحبيبات الصغيرة، حيث تتناسب سرعة الترسيب طرديا مع كثافة الحبيبة وحجمها. وحيث إن معظم المعادن الشائعة في الرواسب يكون لها تقريبا نفس الكثافة (نحو ٢,٦ إلي ٢,٩جم/سم٣)، فإننا نستخدم الحجم والذي يسهل قياسه، كمقياس لسرعة ترسيب المعادن المكونة للرواسب.

فعندما تقل سرعة التيار الحامل للمواد الفتاتية مختلفة الأحجام، تبدأ الحبيبات الأكبر حجما في الترسب، ويتوالي ترسيب المواد الأقل حجما كلما قلت سرعة التيار. وتعرف عملية تجميع الرواسب في مجموعات طبقا لحجمها، بحيث تتشابه حبيبات كل مجموعة منها في الحجم، بعملية الفرز sorting. وسنناقش عملية الفرز لاحقاً عند شرح الرواسب الفتاتية.

٢ – المثالج كعوامل لنقل الحبيبات الفتاتية:

تحمل المثالج glaciers أيضاً الحبيبات الفتاتية. وعندما تتحرك أنهار الجليد على المنحدرات نحو سفوح التلال نتيجة الجاذبية الأرضية، فإنها تجرف معها كميات كبيرة من الفتات الصخري والحبيبات الصلبة التي تم تعريتها من التربة وصخر الأساس bedrock، وتكون تلك الحبيبات خليطا غير متجانس الحجم (رديء الفرز)، حيث إنها لا يمكن أن تترسب وتفرز في وسط الجليد الصلب. ولكن عندما تذوب المثلجة، فإنها ترسب كمية كبيرة من الحطام والحبيبات الفتاتية، والتي تتدرج في الحجم من الحصى إلي الصلصال عند حافة الجليد المنصهر. وتحمل أنهار الماء المنصهر الحطام بعيدا ويصبح عرضة لعملية الفرز التي تطبق على الحبيبات الفتاتية الأخرى.

ويسبب النقل بالمثالج ضغط الحبيبات مع بعضها البعض ببطء واصطدامها وتكسرها، مما يؤدي إلي أن تصبح الحبيبات أصغر حجما ولكنها ليست مستديرة. كما تسبب المثالج تفتت صخر الأساس عند قاع وحواف المثلجة.

٣– السوائل: كوسائل لنقل المواد المذابة:

تلعب التفاعلات الكيميائية دورا أكبر من الدور الذي تلعبه الجاذبية الأرضية في عمليات النقل والترسيب الكيميائي والكيميائي الحيوي. ويتم نقل المواد الكيميائية الذائبة بالتجوية مع الماء الحاوي لها في شكل محلول متجانس، حيث تكون المواد الذائبة (مثل أيونات الكالسيوم) جزءا من محلول الماء نفسه، الذي ينساب عبر الأنهار إلي البحيرات والمحيطات.

٤– المحيطات: خزانات ضخمة للخلط الكيميائي:

يعتبر المحيط خزانا ضخما للخلط الكيميائي، حيث تحمل الأنهار والأمطار والرياح والمثالج المواد المذابة إلي المحيط باستمرار. كما تدخل المحيط أيضا كميات صغيرة من المواد المذابة

نتيجة التفاعلات الكيميائية الحرمائية بين مياه البحر والبازلت الساخن في حيود وسط المحيط. وتقوم التيارات والأمواج بخلط هذه المواد مع مياه المحيط. ويتبخر ماء المحيط باستمرار عند السطح. وتعادل كمية المياه التي تنساب إلي المحيط تلك التي يفقدها خلال عملية التبخير، بحيث تبقى كمية المياه في المحيطات ثابتة خلال الفترات الجيولوجية القصيرة مثل السنوات والعقود أو حتى القرون، بينما قد يتغير هذا التوازن خلال الفترات الزمنية الأطول كملايين السنين. كما يتوازن دخول وخروج المواد المذابة أيضا. وتشارك كل المواد الذائبة في ماء البحر في التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية، والتي تؤدي إلي ترسبها على قاع البحر، فقد تترسب كميات صغيرة من المواد الكيميائية المنقولة بالمجاري المائية في البحيرات المالحة أو البحيرات القلوية، بينما تترسب كميات ضخمة في البحار المالحة المجاورة، وهى بيئة مختلفة تماما عن بيئة المياه العذبة في الأنهار. ويترتب على ترسيب المواد الذائبة في مياه المحيطات في صورة رواسب كيميائية أو كيميائية حيقية، أن تبقى ملوحة salinity المحيطات ثابتة، أي تبقى الكمية الكلية للمواد المذابة في حجم معين من ماء البحر ثابتة. وتتعادل بذلك كمية المواد المترسبة على قيعان المحيطات مع كمية المواد الذائبة التي تنساب إليها نتيجة تجوية صخور القارات وكذلك النشاط الحرمائي عند حيود وسط المحيط.

ويمكن تعرف بعض العمليات التي تحافظ على هذا الاتزان الكيميائي في المحيطات من متابعة عنصر الكالسيوم، الذي يعتبر المكون الأساسي لمادة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) التي تكون معظم الرواسب الكيميائية الحيوية المنتشرة في المحيطات. ويذاب الكالسيوم عندما تتعرض صخور الحجر الجيري ومعادن السيليكات التي تحتوي على الكالسيوم (مثل الفلسبارات

والبيروكسينات) للتجوية على سطح الأرض، حيث ينقل الكالسيوم كأيونات كالسيوم (Ca^{2+}) إلي المحيطات. وتقوم الكائنات الحية البحرية بالعمل على اتحاد أيونات الكالسيوم مع أيونات البيكربونات (HCO_3^-) الذائبة في مياه البحار لتكون أصدافها وتتراكم على هيئة رواسب مكونة من كربونات الكالسيوم على قاع المحيط، فإنها تتحول نهائيا عند تعرضها لعمليات ما بعد الترسيب إلي الحجر الجيري، وبذلك يترك الكالسيوم مياه المحيط الذي دخله كأيونات ذائبة. وهكذا تلعب الكائنات الحية دورا مهما في المحافظة على ثبات نسبة الكالسيوم المذاب في المحيط.

وتساعد العمليات غير العضوية أيضا على التوازن الكيميائي في مياه المحيطات. حيث تتفاعل أيونات الصوديوم (Na^+) المنقولة إلي المحيطات مع أيونات الكلوريد (Cl^-) ليترسب كلوريد الصوديوم ($NaCl$) في صورة معدن الهاليت، حينما يعمل البخر على زيادة نسبة أيونات الصوديوم والكلوريد في الماء لتصل إلي درجة فوق التشبع. وكما أوضحنا في الفصل الثاني، فإن المعادن تتبلور من المحاليل فوق المشبعة عندما يحتوي المحلول على كمية كبيرة من المادة المذابة والتي تتفاعل تلقائيا لتكون الرواسب. ويحدث البخر الشديد اللازم لحدوث التبلور في المياه الدافئة، والتي توجد في أذرع البحار الضحلة.

والترسيب العضوي هو نوع آخر من الترسيب الكيميائي الحيوي. فعندما تحفظ النباتات من التحلل بعد أن تتراكم في المستنقعات كمادة غنية بالمادة العضوية فإنها تكون الخث (بيت) peat الذي يحتوي على أكثر من ٥٠ في المائة كربون. وعندما يدفن الخث نهائياً فإنه يتحول نتيجة عمليات ما بعد الترسيب إلي الفحم coal. وتتراكم أيضا بقايا الطحالب والبكتريا وبعض الكائنات

الحية الدقيقة الأخرى كمادة عضوية في الرواسب الموجودة في مياه البحيرات والمحيطات، وتتحول لاحقا إلي نفط وغاز.

ج – الدفن وتغيرات ما بعد الترسيب: التحول من راسب إلى صخر رسوبي

تحمل الأنهار والرياح والمثالج الجزء الأكبر من الرواسب الفتاتية الناشئة عن تجوية وتعرية سطح اليابسة إلي قاع المحيط، بينما يتبقى القليل منها على اليابسة. كما يحدث الشيء نفسه للرواسب الكيميائية والكيميائية الحيوية، حيث يترسب الجزء الأكبر منها على قاع المحيط أيضا، بينما يترسب القليل منها في البحيرات والمستنقعات. وبالمقارنة بالرواسب التي ترسبت على اليابسة، فإن نسبة أكبر من الرواسب المتراكمة على قاع المحيط تدفن وتحفظ لوقت طويل.

وتهبط الرواسب الحيوية والكيميائية في مياه المحيط، حيث يتم اصطيادها بواسطة تيارات المحيط وتنقل إلي موقع ترسيبي جديد على قاع المحيط. أما الرواسب التي استقرت على القارات، فإن نسبة كبيرة منها قد تترسب في بيئات نهرية (طميية) وبحرية ضحلة العمق، وقد تدفن لتكون الصخور الرسوبية، أو قد يكون قد سبق دفنها عميقا في القشرة القارية. ولكن كيف يؤدي الترسيب إلي الدفن؟

١ – الدفن نتيجة تراكم الرواسب:

يؤدي استمرار الترسيب في البيئات المختلفة إلي تراكم كميات ضخمة من الرواسب التي تتميز بسحنات مختلفة. ويحدث تراكم الرواسب جزئيا نتيجة لهبوط subsidence القشرة بلطف في

منطقة ما بالنسبة للمناطق المحيطة بها. وينشأ الهبوط إما بسبب إضافة كميات من الرواسب تضغط على القشرة، وإما لأسباب تكتونية مثل الصدوع الإقليمية أو لكليهما. وأحواض الترسيب sedimentary basins عبارة عن مناطق تغطي مساحات كبيرة (على الأقل ١٠٠٠٠كم٢)، ترسبت فيها تركمات سميكة من الرواسب والصخور الرسوبية. وتأخذ تراكمات السحنات المختلفة الموجودة في تلك الأحواض أشكالاً هندسية، تتراوح من قيعان ضيقة إلي منخفضات دائرية أو بيضاوية تشبه الملعقة. وتتواجد معظم الصخور الرسوبية في العالم في هذه الأحواض، والتي قد تصبح عبارة عن خزانات لمعظم تجمعات النفط والغاز. وتخضع ميكانيكية هبوط الأحواض وتراكم الرواسب بها لكثير من الأبحاث حاليا.

٢ – تغيرات ما بعد الترسيب:

تحول الراسب إلي صخر بالحرارة والضغط والتغيرات الكيميائية :

تتعرض الرواسب بعد عمليتي الترسيب والدفن إلي تغيرات ما بعد الترسيب. وتعرف عمليات ما بعد الترسيب diagenesis بأنها التغيرات الكيميائية والفيزيائية التي تحدث في الرواسب المدفونة مثل التصخر lithification والكبس compaction، والتي تؤدي إلي تحول الراسب إلي صخر رسوبي. وهذه التغيرات تحدث بعد الترسيب وقبل عملية التحول التي تؤثر في الراسب وتحوله من مادة رسوبية إلي صخر متحول بالحرارة والضغط. ولا تشمل عمليات ما

بعد الترسيب عملية التجوية. ويعمل الدفن على زيادة هذه التغييرات، حيث إن الرواسب المدفونة تكون عرضة لدرجات الحرارة والضغط المتزايدة في باطن الأرض.

وتتزايد درجة حرارة الأرض مع العمق، ولكن بمعدلات تتغير طبقا لنطاقات الأرض الداخلية (ويسمى معدل تزايد درجة الحرارة مع العمق "منحنى حرارة الأرض geotherm أو تدرج

حرارة الأرض" geothermal gradient). ويتواجد أسرع معدل لتزايد درجة الحرارة في القشرة الأرضية حيث ترتفع درجة الحرارة بمعدل ٣٠م لكل كيلو متر عمقا. فعند عمق ٤كم تقريبا، قد تصل حرارة الرواسب المدفونة إلي نحو ١٢٠م أو أكثر. ويحدث عديد من التفاعلات الكيميائية بين المعادن والماء المتواجد في مسام الصخور الرسوبية، وخصوصا عند درجات الحرارة المرتفعة هذه. والعامل الثاني المسبب لتغيرات ما بعد الترسيب هو زيادة الضغط مع العمق، والذي يقدر بحوالي ١ ضغط جوي لكل ٤,٤م في العمق في المتوسط، وهذا الضغط هو المسئول عن كيس أو دمج الرواسب. وحينما ترتفع درجة الحرارة، فإن تغيرات ما بعد الترسيب تدخل في نطاق عمليات التحول، حيث تتراوح درجة الحرارة بين نحو ٣٠٠م و٣٥٠م، وهى تقابل نحو ١٠ – ١٢كم عمقا.

التغير الكيميائى: التلاحم :

التلاحم cementation هو عملية تغير كيمائي رئيسية تحدث بعد الترسيب، حيث تترسب أثناءها معادن في المسام بين حبيبات الراسب أو الصخر الرسوبي مكونة لاحمة تربط بين هذه الحبيبات. وينتج عن التلاحم نقص في المسامية porosity (النسبة المئوية لحجم المسام إلي الحجم الكلي للصخر). كما يؤدي التلاحم أيضا إلي التصخر lithification وهو إحدى عمليات ما بعد الترسيب، والتي يتصلد خلالها الراسب غير المتماسك إلي صخر صلد. فمثلاً، قد يترسب

كربونات الكالسيوم على هيئة معدن كالسيت في بعض الرمال، حيث يعمل الكالسيت كمادة لاحمة تربط الحبيبات وتسبب تصلد الكتلة الناتجة إلي حجر رملي . وقد تقوم بعملية التلاحم معادن أخرى مثل الكوارتز، الذي يلحم حبيبات الرمل والطين والحصى ليحولها إلي حجر رملي وحجر طيني وكونجلومرات أو بريشيا.

كما يمثل التغيي الكيميائي لمعادن الصلصال clay minerals، والتي ترسبت أصلا كحبيبات فتاتية، مثال آخر على تغير كيميائي يحدث بعد الترسيب في الرواسب والصخور الفتاتية، حيث يتحول معدن الكاولينيت kaolinite إلي معدن الايليت illite، وهومعدن صلصال مشابه لمعدن المسكوفيت، وهو أحد معادن مجموعة الميكا.

عمليات التلاحم:

وتنقسم إلى:

- التلاحم بالسليكا Silica Cementation:

يعد نمو بلورات المرو Quartz Overgrawth من أهم أنواع التلاحم بالسليكا. ففي هذا النوع من التلاحم ترسب السليكا، من المحلول المائي فوق أسطح حبيبات المرو. ويعتقد أن تركّز

السليكا العالي في ذلك المحلول والذي يقود إلى نمو بلورات المرو على الأسطح - يرجع إلى عمليات الذوبان بالضغط عند نقاط الالتقاء بين الحبيبات. كما يتحقق هذا النوع من التلاحم بالرسوب الكيماوي من المحلول المائي لتتكون بلورات جديدة للمرو أو الأوبال Opal في مسام الرواسب كما يحدث في التربة عند تكون الآفاق السليكاتية Silcretes .

- التلاحم بالكربونات: Carbonate Cementation

يعد معدن الكالسايت (كربونات الكالسيوم) $CaCO_3$ من أهم المواد اللاحمة في الصخور الرسوبية الفتاتية. ويليه في الأهمية معدن الدولوميت (كربونات الكالسيوم والماغنسيوم) Dolomite $CaMg(CO_3)_2$ ثم معدن السدرايت (كربونات الحديد) Siderite $FeCO_3$. وتكون المادة اللاحمة من الكربونات إما متوزعة بالتساوي في جميع أجزاء الصخر أو متكتلة في بعضها.

- التلاحم بمعادن الطين: Clay mineral authigenesis

-تتلاحم الرواسب الفتاتية بالرسوب الكيماوي لمعادن الطين من المحلول المائي عندما يصل إلى درجة التشبع بالنسبة إلى تلك المعادن. ورسوب معادن الطين في مسام الرواسب يؤثر كثيراً في مسامية الصخر ونفاذيته ومن ثم يحد من القدرة التخزينية والاستقلالية للسوائل من الماء والنفط في الصخر. ويعد معدنا الكالينايت Kaolinite والإيلايت Illite أكثر أنواع معادن الطين مساهمة في تلاحم الرواسب خلال عمليات النشأة المتأخرة وخاصة في الحجر الرملي. إلا أن معادن الطين الأخرى مثل معدن المونتموريلونايت Montmorillonite والطبقات المختلطة من المونتموريلونايت والإيلايت Mixed-layer Illite-Montmorillonite ومعدن الكلورايت Chlorite.

- تساهم في تلاحم الرواسب خلال هذه المرحلة. ويؤثر نوع معدن الطين في المادة اللاحمة، في إمكانية استغلال خزانات الصخور الرملية فرسوب معدن الكالينايت في مسام الرواسب، كمادة لاحمة يقلل المسامية؛ لكن تأثيره في نفاذية الصخر قليل جداً. أما رسوب معدن الإيلايت في المسام، كمادة لاحمة فيقلل كثيراً من نفاذية الصخور الرملية بواسطة إغلاق حناجر المسام، لكن تأثيره في مسامية الصخر يكون محدوداً.

- التلاحم بأكاسيد الحديد: Hematite Cementation

يرجع اللون الأحمر للعديد من الصخور الرسوبية الفتاتية، إلى رسوب أكاسيد الحديد على شكل معدن الهيماتايت Hematite Fe_2O_3 كطلاء على أسطح حبيبات الرواسب وخاصة تلك القارية، في الصحاري والأنهار وسهول الفيض والمراوح الفيضية. ويكون معدن الهيماتايت طلاء رقيقاً جداً، على الحبيبات الأصلية وعلى بلورات المعادن الثانوية، من الطين والمرو والفلسبار التي رسبت في مسام الرواسب.

التغير الفيزيائي: الكبس

تمثل عملية الكبس (الاندماج) compaction التغير الفيزيائي الأساسي في مرحلة ما بعد الترسيب، ويؤدي إلي نقص في حجم ومسامية الرواسب والصخور الرسوبية، وتحدث هذه العملية عادة عندما تكبس الحبيبات لتقترب من بعضها بعضا نتيجة لزيادة وزن الرواسب التي تعلوها. ويتم تعبئة packing الرمال جيدا أثناء الترسيب، ولذلك فإنها لا تتعرض كثيرا للكبس. أما الطين mud المترسب حديثا فتكون مساميته عالية، حيث تصل نسبة الماء في مسامه أكثر من٦٠%. ولذلك، يكبس الطين بدرجة كبيرة بعد الدفن حيث يفقد أكثر من ٥٠% من الماء الموجود به.

إعادة التبلور: قد يعاد تبلور المعادن الأقل استقرارا إلي أشكال أكثر استقرارا. وتعرف هذه العملية بإعادة التبلور recrystallization. فمعدن الأراجونيت هو الشكل الأقل استقرار لكربونات الكالسيوم، كما أنه المكون الرئيسي للعديد من الأصداف التي تكون الرواسب الكربوناتية. وأثناء عمليات تغيرات ما بعد الترسيب، وبعد بداية الدفن مباشرة، يبدأ الأراجونيت في إعادة التبلور إلي شكل من كربونات الكالسيوم أكثر استقرارا، وهو معدن الكالسيت، وهو أكثر معادن الحجر الجيري شيوعا.

ونعرض فيما يلي وصفا لكل من هذه الأنواع:

١- الرواسب والصخور الرسوبية الفتاتية :

الرواسب الفتاتية clastic sediments (وتعرف أيضا بالرواسب الحتاتية detrital sediments) عبارة عن فتات صلب نتج عن تجوية صخور سابقة ثم نقل بعوامل طبيعية مثل الهواء أو مياه الأنهار أو المثالج. ويختلف هذا الفتات في الحجم بين جلاميد وحصى وحبيبات رمل وغرين وصلصال، كما يختلف في الشكل أيضاً. وتتحدد أشكال الجلاميد والحصى بالكسور الطبيعية التي تتكون على امتداد الفواصل ومستويات التطبق في الصخر الأصلي، بينما تستمد حبيبات الرمل أشكالها من أشكال البلورات المفككة، التي كانت متداخلة من قبل في الصخر الأصلي.

والرواسب الفتاتية عبارة عن تراكمات من مواد فتاتية تحتوي غالبا على معادن سيليكاتية. ويختلف تركيب خليط المعادن المكون للراسب الفتاتي، حيث يحتوي على معدن الكوارتز ذي المقاومة العالية، بالإضافة إلي بعض المعادن الأقل ثباتا، والتي تجوت جزئياً مثل الفلسبارات والمعادن الأخرى حديثة التكوين مثل معادن الصلصال. كما يؤدي تغير شدة التجوية إلي تكون مجموعات مختلفة من المعادن المستمدة من الصخر الأصلي. فعندما تكون التجوية شديدة فإن الراسب يحتوي فقط على حبيبات فتاتية مكونة من معادن ثابتة كيميائياً مختلطة مع معادن الصلصال. وعندما تكون التجوية ضعيفة، فإن عديداً من المعادن غير الثابتة تحت الظروف السطحية تبقى وتتواجد في الراسب كحبيبات فتاتية. وفي العادة، فإن الرواسب الفتاتية تتكون بمعدل أكبر بكثير من الرواسب الكيميائية والرواسب الكيميائية الحيوية. كما تتهشم الصخور نتيجة للتجوية الطبيعية بمعدل أكبر من إذابتها بالتجوية الكيميائية. ولذلك، فإن الرواسب الفتاتية تمثل تقريبا عشرة أضعاف الرواسب الكيمائية والرواسب الكيميائية الحيوية في القشرة الأرضية.

٢ – الرواسب الكيميائية والرواسب الكيميائية الحيوية:

تكون نواتج التجوية الكيميائية في معظم الأحيان عبارة عن أيونات أو جزيئات مذابة في ماء التربة أو الأنهار والبحيرات والمحيطات. وتترسب هذه المواد المذابة من الماء نتيجة التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية، حيث تتكون الرواسب الكيميائية chemical sediments.

ويتكون الراسب الكيميائي نتيجة تفاعلات غير عضوية في الماء. فعندما يبرد الماء الساخن الخارج من ينبوع spring فقد يترسب أوبال (ثاني أكسيد سيليكون) أو كالسيت (كربونات كالسيوم). وهناك مثال آخر شائع وهو التبخر البسيط لماء البحر أو ماء البحيرات. فعندما يتبخر الماء، فإن المادة المذابة تتركز وتبدأ الأملاح في الترسب على هيئة طبقات يكون أكثرها شيوعا تلك المكونة من الجبس أو الهاليت.

كما تتكون الرواسب الكيميائية الحيوية biochemical sediments من المعادن المتبقية من الكائنات الحية، بالإضافة إلي المعادن المتكونة نتيجة للتفاعلات الكيميائية الحيوية للنباتات والحيونات التي تعيش في الماء. فمثلاً، تستطيع بعض النباتات التي تعيش في البحار أن تقلل من حموضة الماء حولها، مما يؤدي إلي ترسيب بيكربونات الكالسيوم الذائبة في الماء في شكل كربونات الكالسيوم. كما يتكون الحديد أيضا نتيجة لنشاط بعض الكائنات الحية. وتحتوي عديد من

طبقات الرواسب الكيميائية الحيوية على حبيبات رسوبية ذات أصل عضوي مثل: المراجين والطحالب والأصداف الكاملة أو بعض أجزائها حيث تختلف أحجام تلك الحبيبات كثيرا. وتعمل الأمواج والتيارات أثناء عملية النقل على قاع البحر على استدارة الحواف الحادة لتلك الحبيبات كما قد تتجمع تلك الحبيبات وتترسب حسب حجمها لتكون طبقات من حبيبات فتاتية حيوية bioclastic particles، يغلب على تركيبها مادة كربونات الكالسيوم في صورة معدن الكالسيت أو الأراجونيت. كما قد تتكون رواسب كربونات الكالسيوم أيضا في أعماق البحار من أصداف أنواع قليلة من الكائنات الحية، ومعها القليل من الحبيبات الفتاتية الحيوية، وتكون في هذه الحالة مكونة فقط من كربونات الكالسيوم في صورة معدن الكالسيت. أما في المناطق الضحلة من البحار، فإن الرواسب تتكون من كربونات الكالسيوم، في صورتي الكالسيت أو الأراجونيت.

أ – شكل الحبيبة :

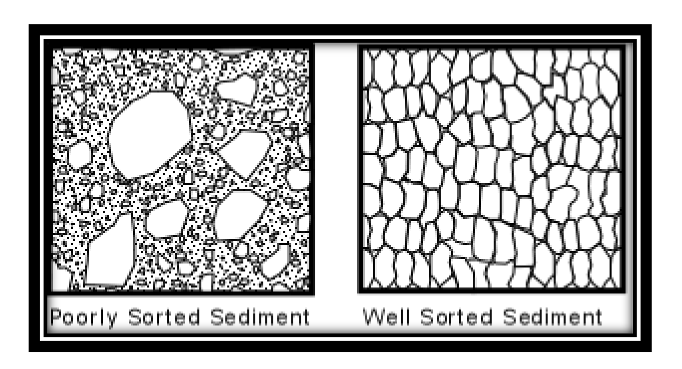
يوصف شكل الحبيبة أثناء دراسة الرواسب والصخور الرسوبية الفتاتية بثلاث صفات هى الشكل والتكور والاستدارة. ويوصف الشكل العام form للحبيبة بأنه متساوي الأبعاد equant عندما تكون أبعاد الحبيبة متساوية في كل الاتجاهات، كما توصف بأنها منبسطة (نضيدية) tabuiar عندما يكون هناك بعدان أكبر من البعد الثالث، أو تأخذ شكل العصا rod – shaped ، عندما يكون بعد واحد أكبر من البعدين الآخرين. أما التكور sphericity فهو مقياس لدرجة اقتراب شكل الحبيبة العام من شكل الكرة. وتوصف الحبيبة بأنها عالية التكور كلما كانت أقرب إلي شكل الكرة، بينما توصف الحبيبات المنبسطة، وتلك التي تشبه العصا بأنها منخفضة التكور. أما الاستدارة roundness فهى مقياس لدرجة حدة حواف الحبيبة. وتوصف الحبيبات التي حوافها حادة بأنها بالغة التزوي very angular، بينما توصف الحبيبات التي حوافها ناعمة ومستديرة بأنها جيدة الاستدارة well – rounded. ويؤدي استمرار عمليات التجوية الطبيعية لفترات زمنية طويلة، وكذلك نقل الحبيبات بتيارات المياه والرياح إلي تصغير حجم الحبيبات، كما يؤدي إلي استدارة الفتات الرسوبي ذي الحواف الحادة ، حيث تؤدي عملية نقل الفتات إلي تقليب

الحبيبات واصطدامها بعضها ببعض، أو احتكاكها بصخور الأساس فيحدث سحج abrasion للحبيبات، وتصبح أكثر استدارة كلما زادت مسافة النقل.

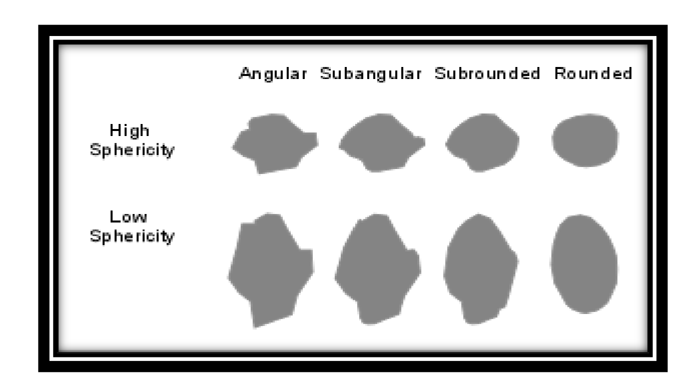
Grain Size:

Name of Particle	Size Range	ϕ Scale	Loose Sediment	Consolidated Rock
Boulder	>256 mm	<-8	Gravel	**Conglomerate** or **Breccia** (depends on rounding)
Cobble	64 - 256 mm	-6 to -8		
Pebble	4 - 64 mm	-2 to -6		
Granule	2 - 4 mm	-1 to -2		
Very Coarse Sand	1 - 2 mm	0 to -1	Sand	**Sandstone**
Coarse Sand	0.5 - 1 mm	1 to 0		

Grain sorting:



Rounding:



<u>ب – الفرز :</u>

يعكس تصنيف الرواسب والصخور الفتاتية المختلفة على أساس أحجام الحبيبات ظروف ترسيب تلك الرواسب. وكما أوضحنا سابقا، فكلما كان حجم الحبيبات أكبر، كان التيار المطلوب للنقل والترسيب أقوى. ويؤدي هذا التلازم بين قوة التيار وحجم الحبيبات إلي فرز الحبيبات وترسبها في طبقات مفروزة. ولذلك، فإن معظم طبقات الرمل لاتحتوي على حصى أو طين، كما تتكون معظم طبقات الطين من الحبيبات الدقيقة فقط. وتعرف عملية تجميع الرواسب في مجموعات طبقا لحجم حبيباتها بعملية الفرز sorting، حيث يكون الراسب جيد الفرز إذا كان مكونا في معظمه من حبيبات متجانسة الحجم غالبا، بينما يكون الراسب رديء الفرز إذا كان مكونا من حبيبات مختلفة الحجم .

ويمكن تقسيم كل مجموعة من المجموعات الحجمية السابقة والمصنفة على أساس النسيج الصخري إلي مجموعات أصغر، بناءً على التركيب المعدني الذي يعكس مكونات الصخور الأصلية. ولذلك فهناك حجر رملي غني بالكوارتز وحجر رملي غني بالفسبار وصخور طفل جيرية وأخرى سيليسية أو غنية بالمواد العضوية. وبعض الرواسب تكون فتاتية عضوية، حيث

تتكون من مواد مثل الكربونات ترسبت أصلاً على هيئة أصداف ولكن كسرت ونقلت بالتيار نقلا ميكانيكيا.

ويعتبر الغرين وحجر الغرين والطين والحجر الطيني والطفل من أكثر أنواع الرواسب الفتاتية انتشارا، حيث تمثل نحو ثلاثة أضعاف الصخور الفتاتية الخشنة الحبيبات (شكل ٧ – ٧). ويعكس انتشار الفتاتيات دقيقة التحبب والتي تحتوي على كميات كبيرة من معادن الصلصال، أهمية الدور الذي تلعبه التجوية الكيميائية لكميات كبيرة من الفلسبار والمعادن السيليكاتية الأخرى لتكوين معادن الصلصال في القشرة الأرضية.

<u>– تصنيف الرواسب والصخور الرسوبية الفتاتية:</u>

تصنيف الرواسب والصخور الفتاتية clastic sediments and sedimentary rock بناءً على حجم الحبيبات إلي ثلاثة مجموعات رئيسية كالتالي. • خشنة الحبيبات، وتشمل الجرول gravel والكونجلومرات conglomerate والبريشيا breccia. • متوسطة الحبيبات، وتشمل الرمل sand والحجر الرملي sandstone. • دقيقة الحبيبات، وتشمل الغرين silt وحجر الغرين siltstone والطين mud وحجر الطين mudstone والطفل shale والصلصال clay وحجر الصلصال claystone.

وسنناقش فيما يلي الخصائص المميزة لكل من هذه المجموعات الثلاث للرواسب والصخور الرسوبية الفتاتية بشيء من التفصيل:



١ – <u>الفتاتيات خشنة التحبب</u>: الجرول والكونجلومرات

يعتبر الجرول من أخشن الرواسب الفتاتية، حيث يتكون من حبيبات يزيد قطرها على ٢مم، ويشمل: الجرول رواسب الجلاميد boulders والحصى الكبير cobbies والحصى pebbles. والجرول هو المقابل المفكك لصخر الكونجلومرات conglomerate والبريشيا breccia، أي

أن الكونجلومرات عبارة عن جرول تماسكت حبيباته وتصلدت . وتختلف الكونجلومرات عن البريشيا في كون حبيباتها أكثر استدارة . ونظرا لكبر حجم الحبيبات في تلك الصخور، فإنه يسهل دراستها وتعريفها. حيث يشير مثلا وجود حصى جرانيتي في كونجلومرات ترسب بنشاط الأنهار، إلي وجود كتلة من الجرانيت منكشفة في مناطق الصرف drainage areas التي تغذي الأنهار التي قامت بنقل الجرول.





ويوجد عدد ضئيل نسبيا من البيئات التي تتميز بوجود تيارات قوية بدرجة تكفي لنقل الحصى مثل مجاري المياه في منحدرات الجبال شديدة الانحدار، والشواطيء الصخرية التي تضر بها الأمواج العالية، والمياه المنصهرة من المثالج. كما قد تحمل التيارات القوية الرمال أيضا، حيث يترسب بعض الرمل مع الجرول والبعض الآخر يتسرب في المسام بين الكسرات بعد ترسيب الرواسب الفتاتية الكبيرة. ويؤدي نقل الحصى والحصى الكبير على الأرض أو في الماء إلي بريها واستدارتها، حيث يسبب النقل لمسافة ١٠٠كم استكمال استدارة الحصى وجعلها ناعمة. وتتحرك حبيبات جرول الشواطيء للأمام والخلف باستمرار بواسطة الموجات القوية مما يؤدي إلي استدارتها أيضا. أما إذا سلمت الحبيبات وكسرات الصخور من البري، وبقيت ذات زوايا حادة، فإنها يطلق عليها بريشيا رسوبية sedimentary breccias . وتوجد البريشيا الرسوبية في الرواسب القريبة من المصدر الذي نشأت منه، والتي لم تنقل لمسافات بعيدة. وليست كل البريشيا ذات أصل رسوبي، فقد تتكون بعض البريشيا بسبب تكسر مواد بركانية عند الانفجارات البركانية (بريشيا بركانية) أو قد تتكون البريشيا بسبب تكسير الصخور على امتداد أسطح الصدوع (بريشيا الصدوع).

٢ – الفتاتيات متوسطة التحبب: الرمل والحجر الرملي

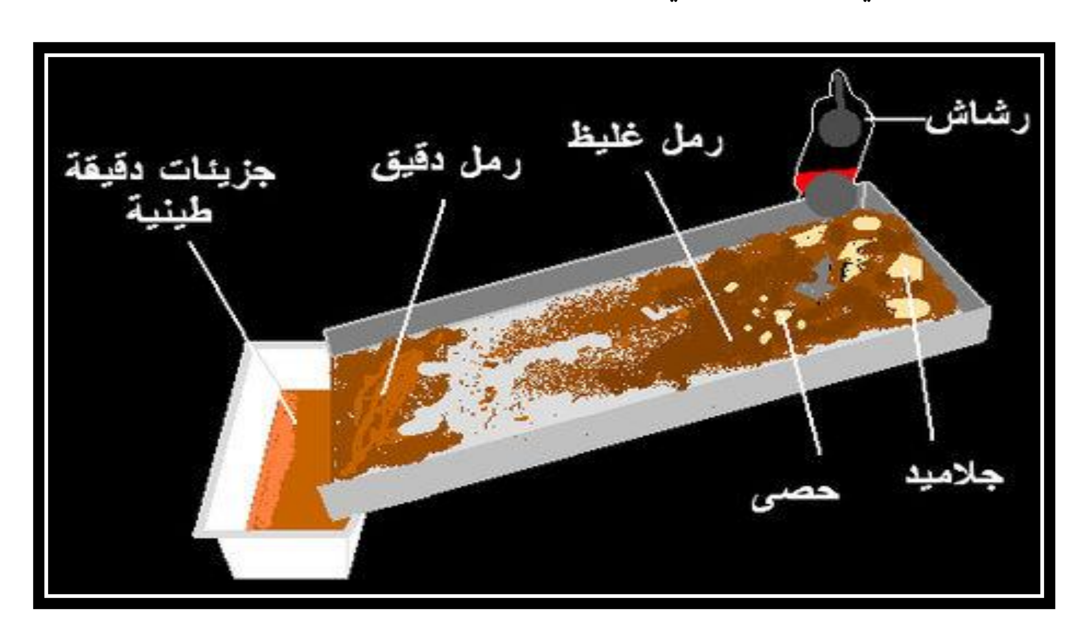
يتكون الرمل sand من حبيبات متوسطة الحجم يتراوح قطرها بين ٠,٠٦٢ إلي ٢مم. وتتحرك هذه الرواسب بفعل تيارات متوسطة القوة مثل تلك الموجودة بالأنهار وبيئات خط الشاطيء والرياح التي تذرو الرمال في الكثبان الرملية. وتكون حبيبات الرمل كبيرة بدرجة تسمح برؤيتها بالعين المجردة، كما يمكن رؤية عديد من الملامح المميزة لحبيبات الرمل، باستخدام عدسة مكبرة ذات قوة تكبير صغيرة.



والمقابل الصخري للرمل هو الحجر الرملي sandstones . وقد حظى الحجر الرملي بأكبر قدر من الاهتمام مقارنة بالمجموعات الفتاتية الأخرى، بسبب انتشاره الواسع، وسهولة تعرف أصل نشأته وظروفها. فتجتوي مثلا عديد من الأحجار الرملية على طباقية متقاطعة، والتي تدل على اتجاه التيار الناقل، لذلك فإن الأحجار الرملية تكون ذات أهمية في عمل خريطة للتيارات القديمة التي تدل على اتجاه المجرى المائي السابق أو الرياح أو تدفق المياه في البحار الضحلة.

أحجام حبيبات الرمل: تصنف حبيبات الرمل إلي دقيقة الحجم أو متوسطة أو خشنة. ويعكس متوسط حجم الحبيبات في الحجر الرملي كلاً من حجم البلورات التي تم تجويتها من الصخر الأصلي، وقوة التيار الذي حملها. ولا يدل حجم الحبيبات على كل تفصيلات النشأة، حيث إن مدى حجم الحبيبات، ونسبة انتشار الأحجام المختلفة لها أهمية أيضا. فإذا كانت أحجام الحبيبات متقاربة، فإن الرمل يكون جيد الفرز. أما إذا كان الكثير من الحبيبات ذات حجم أكبر أو أصغر من متوسط الأحجام، فإن الرمل يكون رديء الفرز. وقد تساعد درجة الفرز في التمييز بين رمال الشواطيء (جيدة الفرز)، والرمال الطينية المترسبة بواسطة المثالج (رديئة الفرز).

أشكال حبيبات الرمل: تعتبر أشكال حبيبات الرمل مهمة أيضا في الاستدلال على ظروف نشأة الرمال. فحبيبات الرمل مثل الحبيبات الفتاتية الأخرى تكون مستديرة نتيجة البري حيث تصطدم بعضها البعض أثناء النقل. وتدل استدارة الحبيبات على المسافة الطويلة التي قطعتها الحبيبات في مجرى النهر الطويل أثناء النقل، بينما تدل الحبيبات المزواةعلى النقل لمسافات قصيرة. وتصبح حبيبات الرمل مستديرة أيضا نتيجة الحركة للأمام والخلف بواسطة الأمواج على الشواطيء. ومع ذلك، فإن معظم حبيبات الرمل تأخذ أشكالها الكروية والمستطيلة أو المنبسطة من أشكال البلورات الأصلية في الصخر الأصلي.



كما تتم أيضا دراسة أسطح الحبيبات باستخدام المهجر الإلكتروني الماسح scanning electron microscope (SEM) لإظهار ملامح مميزة تستخدم للاستدلال منها على الظروف التي تعرضت لها الرواسب أثناء النقل والترسيب.

التركيب المعدني: يمكن التنبؤ بطبيعة المصادر التي تمت تجويتها لتكوين حبيبات الرمل، من خلال دراسة التركيب المعدني للرمال والأحجار الرملية. حيث يدل وجود فلسبارات غنية بالصوديوم أو البوتاسيوم مع وفرة الكوارتز على أن الرواسب تم تجويتها من مناطق جرانيتية. كما تدل بعض المعادن الأخرى مثل الكيانيت والاشتوروليت على أن الصخور الأصلية كانت صخورا متحولة.

وقد لا يتفق التركيب المعدني للرمل أو الحجر الرملي بالضبط مع التركيب المعدني للصخر الأصلي، حيث تعمل التجوية الكيميائية على إذابة معظم فلسبار الصخر الأصلي كالجرانيت بحيث لا تبقى إلا حبيبات الكوارتز. ولذلك فإننا نستطيع من تحليل التركيب المعدني للرمل أو الحجر الرملي، أن نستنتج نوع الصخر الأصلي، بالإضافة إلي بعض المعلومات عن العواما التي أثرت في التجوية في منطقة الصخر الأصلي مثل المناخ. كما يمكن أيضا مضاهاة التركيب المعدني للصخور الأصلية بالأوضاع في تكتونية الألواح. فعلى سبيل المثال، فإن الأحجار الرملية المحتوية على وفرة من كسرات الصخور البركانية المافية تكون قد نشأت من أقواس بركانية volcanic arcs عند نطاقات الاندساس. الأنواع الرئيسية للأحجار الرملية: يمكن تقسيم الأحجار الرملية إلي عدة مجموعات رئيسية بناءً على التركيب المعدني والنسيج وهى: • كوارتز أرينيت quartz arenite ويتكون كلية من حبيبات كوارتز، جيدة الفرز ومستديرة عادة . وتنشأ

هذه الرمال المكونة من حبيبات الرمل الخالصة نتيجة التجوية الشاملة التي حدثت قبل وأثناء النقل وأزالت كل المعادن ماعدا الكوارتز، وهو أكثر المعادن ثباتا واستقرارا.

• **أركوز: arkose** ويحتوي على أكثر من ٢٥% فلسبار، حيث تميل الحبيبات أن تكون مزواة إلي شبه مستديرة وأقل في درجة الفرز عن الحجر الرملي المكون من الكوارتز الخالص. وتنشأ هذه الأحجار الرملية الغنية بالفلسبارات من التجوية السريعة لمناطق مكونة من صخور جرانيتية ومتحولة، حيث تكون التجوية الكيميائية أقل تأثيرا من التجوية الفيزيائية.

• **حجر رملي صخري**: **lithic sandstone** وهو يحتوي على عديد من الكسرات المستمدة من صخر دقيق التحبب غالبا مثل الطفل، أو صخور بركانية وصخور متحولة دقيقة التحبب.

• **جريواكي**: **greywacke** وهو صخر رصاصي قاتم اللون، صلد، يتكون من خليط غير متجانس من كسرات صخرية وحبيبات مزواة رديئة الفرز من الكوارتز والفلسبار، في حجم حبيبات الرمل مدفونة في أرضية صلصالية دقيقة التحبب . وتكونت معظم هذه الأرضية نتيجة التغير الكيميائي والكبس الميكانيكي والتشوه لكسرات صخور لينة نسبيا – مثل: صخور الطفل وبعض الصخور البركانية – بعد الدفن العميق للحجر الرملي.

ويهتم كل من جيولوجيي المياه الجوفية والبترول بدراسة الحجر الرملي. ويعول جيولوجيو المياه الأرضية على فهم أصل الحجر الرملي للتنبؤ بإمكانة وجود مصادر للمياة للمياه في مناطق بها حجر رملي مسامي، مثل متكون الحجر الرملي النوبي، والذي يشغل مساحات واسعة في مصر

(أكثر من ٩٠%) سواءً فوق السطح أو تحت السطح . ويجب أن يهتم جيولوجيو البترول بدراسة مسامية ودرجة التحام الحجر الرملي، حيث إن النفط والغاز المكتشفين خلال المائة وستين عاما الماضية قد وجدا في صخور حجر رملي مدفونة. وبالإضافة إلي ذلك، فإن نسبة كبيرة من ا

ليورانيوم المستخدم في مشاريع توليد الطاقة النووية والأسلحة النووية يحصل عليها من اليورانيوم الناتج من عمليات ما بعد الترسيب في الحجر الرملي.

٣ – <u>الفتاتيات دقيقة التحبب</u>: الغرين وحجر الغرين والطين والحجر الطيني والطفل

يعتبر الغرين وحجر الغرين والطين والحجر الطيني والطفل أدق الرواسب والصخور الرسوبية الفتاتية حجما. ويقل قطر الحبيبات المكونة لهذه الرواسب كلها عن ٠,٠٦٢ مم، ولكن تختلف هذه الحبيبات اختلافا كبيرا في المدى الذي يقع فيه حجم الحبيبات وكذلك التركيب المعدني.

وتترسب الرواسب دقيقة التحبب بواسطة ألطف التيارات، والتي تسمح لأدق الحبيبات أن تترسب ببطء إلي القاع في وجود الأمواج الهادئة. وفيما يلي وصف لكل من هذه الأنواع:

<u>الغرين وحجر الغرين:</u> حجر الغرين siltstone هو المقابل الصخري للغرين silt، وهو راسب فتاتي يتراوح قطر حبيباته بين ٠,٠٠٣٩ و٠,٠٦٢مم. ويكون حجر الغرين مشابها للحجر الطيني أو الحجر الرملي دقيق الحبيبات جدا.



<u>الطين وحجر الطين والطفل</u>: الطين mud هو أي راسب فتاتي تكون فيه قطر معظم الحبيبات أقل من ٠,٠٦٢مم . ويترسب الطين بالأنهار وفي مناطق المد والجزر. فبعد أن يفيض النهر في

الأراضي المنخفضة، وبعد أن يتراجع ويتقهقر الفيضان، يبطيء التيار ويترسب الطين الذي يؤدي إلي خصوبة أراضي قاع النهر. كما تتخلف رواسب الطين نتيجة انحسار المد على امتداد عديد من مسطحات المد والجزر، حيث يكون تأثير الأمواج معتدلا. وتغطي رواسب الطين معظم قيعان المحيطات العميقة حيث تكون التيارات ضعيفة أو منعدمة.



والصخر دقيق التحبب المقابل لراسب لطين هو حجر الطين والطفل. وحجر الطين mudstone هو صخر كتلي به ترفق fissility ضعيف أو غير موجود على الإطلاق. ويتكون الطفل shale من الغرين والصلصال. وتتميز هذه الصخور بوجود مستويات تطبق، حيث تنفصل إلي رقائق على امتداد تلك المستويات. وقد يحتوي الطين وحجر الطين والطفل على أكثر من ١٠% كربونات ليكون رواسب من طفل كلسي (جيري)، بينما يحتوي الطفل الأسود أو العضوي على كمية وفيرة من المادة العضوية، التي تكونت نتيجة عمليات ما بعد الترسيب ويطلق عليه طفل الزيت oil shales، الذي قد يحتوي على كميات كبيرة من المادة العضوية الزيتية، مما يجعله مصدرا مهما للنفط.

الصلصال وحجر الصلصال: تكون الحبيبات التي في حجم الصلصال هى أكثر المكونات شيوعا في الرواسب والصخور الرسوبية دقيقة التحبب. وجدير بالملاحظة أننا نشير هنا إلي احجام الحبيبات، وليس إلي معادن الصلصال clay minerals، التي يقل قطرها عن ٠,٠٠٣٩مم، والتي تتكون بنسبة كبيرة من معادن الصلصال . وتسمى الصخور المكونة في معظمها من حبيبات في حجم الصلصال، بحجر الصلصال claystone. كما قد يترسب تراب dust يشتمل

على حبيبات في حجم الصلصال وحجم الغرين بالرياح بعد العواصف الترابية على السهول القاحلة .

وتكون بعض معادن الصلصال الموجودة في الرواسب دقيقة الحبيبات (وخاصة الكاولينيت) ذات قيمة اقتصادية، حيث تستخدم في صناعة الخزف، كما قد تكون هذه الرواسب، بالإضافة إلي بقية أنواع الصلصال تربة قديمة paleosols، وهي المقابل المتحجر للتربة. وعلى الرغم من أن بعض هذه التربة القديمة لا يشبه التربة الحديثة الآن، إلا أنها قد تظهر قطاعاً معدنياً مستمداً بوضوح من قطاع تربة قديمة .

الرواسب والصخور الرسوبية الكيميائية و الكيميائية الحيوية:

تمدنا الرواسب والصخور الفتاتية بما يكفي من المعلومات عن طبيعة الصخور القارية التي تنشأ منها، وظروف تجويتها. كما تمدنا الرواسب الكيمائية و الكيمائية الحيوية أيضاً بما يكفي من المعلومات عن الظروف الكيمائية في بيئة الترسيب التي تكون في معظم الأحيان هي المحيط. كما يحدث الترسيب الكيميائي في البحيرات أيضاً، وخاصة تلك المتواجدة في المناطق القاحلة حيث يكون التبخير شديداً، إلا أن مثل تلك الرواسب لا تمثل إلا نسبة صغيرة جداً بالنسبة لكمية

الرواسب المتكونة على امتداد خطوط شواطئ المحيطات، وعلى الرفوف القارية وفي أعماق المحيطات.

تصنيف الرواسب والصخور الرسوبية الكيمائية و الكيمائية الحيوية:

تصنف الرواسب غير الفتاتية إلى مجموعتين هما:الرواسب الكميائية chemical sediments والرواسب الكيميائية الحيوية biochemical sediments . ويقوم هذا التصنيف على أساس تركيبها الكيميائي وبعكس هذا التصنيف في حالة البيئات البحرية أنواع العناصر الكيميائية المذابة في ماء الحبر والأيونات الأكثر شيوعاً لتلك العناصر وهي: الكلوريد (CL^-) والماغنسيوم (Mg^{2+}) والصوديوم (Na^+) والكبريت (على هيئة كبريتات So_4^{2-}) والبوتاسيوم (K^+) والكربونات (co_3^{2-}) والكالسيوم (Ca^{2+}). كما يتواجد في في ماء البحر مكونان رئيسيان لبعض الصخور الرسوبية ولكن بكميات ضئيلة هما السيليكا (Sio_2) والفسفور. وتمثل الكائنات الحية المكون الأساسي في الرواسب الكميائية الحيوية. وتساهم أصداف الكائنات الحية المترسبة بعمليات كيمائية حيوية في تكوين الكثير من الرواسب الكربوناتية في العالم، حيث إن الكربونات هي أكثر الرواسب غير الفتاتية في العالم انتشاراً. وقد تترسب الرواسب الكيميائية بعمليات كيمائية فقط، ولكنها أقل انتشاراً نسبياً.

١- الرواسب والصخور الرسوبية الكربوناتية : الحجر الجيري وحجر الدولوميت

تتكون الرواسب والصخور الرسوبية الكربوناتية carbonate sediments and sedimentary rocks من تراكم معادن كربونات تكونت عضوياً أو بطريقة غير عضوية. وقد تتكون المعادن أثناء عملية الترسيب أو عمليات ما بعد الترسيب. وقد تتكون من كربونات كالسيوم أو كربونات كالسيوم وماغنسيوم. ويرجع انتشار الصخور الكربوناتية إلي وجود كميات كبيرة من الكالسيوم والبيكربوانات في مياه البحار، وتستمد الكربونات من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، بالإضافة إلى الكالسيوم من الحجر الجيري السهل التجوية على القارات.

الرواسب الكربوناتية العضوية: تتكون معظم الرواسب الكربوناتية في المحيط من الكالسيت المكون للأصداف وهياكل الفورامينيفرا Foraminifera، وهى كائنات بحرية وحيدة الخلية تعيش في المياه السطحية، بالإضافة إلي الكائنات الحية الأخرى التي تفرز كربونات الكالسيوم الذي استخرجه من مياه البحار. وعندما تموت الكائنات الحية فإن أصدافها وهياكلها تستقر وتتراكم على قاع المحيط لتكون رواسب. وتحتوي معظم الرواسب الكربوناتية على معدن الأراجونيت بالإضافة إلي الكاليست، وهو شكل أقل استقرارا من الكاليست. وكما هو معروف، فإن بعض الكائنات الحية تكون هياكلها من الكاليست بينما تكون الأخرى من الأراجونيت، بينما يتكون بعضها من كليهما.



وتبني الشعاب reefsهضابا صلبة ملتحة صغيرة من الهياكل الكربوناتية لملايين الكائنات الحية، أو تراكيب عضوية تشبه الحيود، تقوم الأمواج وترتفع إلي أعلى حتى سطح البحر أو فوقه قليلاً. وتبني المراجين corals معظم الشعاب من كربونات الكالسيوم في البحار الدافئة في عالم اليوم. وهى تراكيب صلبة تختلف عن الرواسب المتراكمة في صورة لينة في بيئات أخرى. ويتكون الحجر الجيري الصلب في الشعاب مباشرة بفعل الكائنات الحية، حيث لا توجد مرحلة انتقالية بينه وبين الراسب اللين. ويعيش فوق تلك الشعاب وحولها مئات من أنواع الكائنات الحية الأخرى المكونة للكربونات، مثل القواقع والمحاريات التي تعيش قرب خطوط الشواطيء الحالية. كما تكون الطحالب البحرية الكربونات أيضا، وهى كائنات حية وحيدة الخلية تشبة النباتات البدائية والتي تنمو على الشعاب وفي بيئات كربوناتية أخرى.

<u>رواسب الكربونات غير العضوية:</u> كان يعتقد حتى وقت قريب أن كل كربونات الكالسيوم أصلها عضوي، ولا يتكون مباشرة من ماء البحر. ولكن أوضحت البحوث التي أجريت على البحيرات الشاطئية (اللاجونات lagoons وهى بحيرات مالحة ضحلة تجاور البحر وقد تتصل به) وعلى المنحدرات الصاعدة في جزر البهاما أن جزءا كبيرا من الطين الكربوناتي في هذه المناطق الضحلة قد ترسب لا عضوياً، بشكل مباشر من ماء البحر. والأساس الكيميائي لترسيب الكربونات لا عضوياً هو توافر أيونات الكالسيوم (ca2+) والبيكربونات (HCO3) بدرجة كافية في ماء البحر. ويتوافر ذلك بصفة خاصة في المناطق الاستوائية الدافئة من المحيطات، ويترسب الكربونات نتيجة التفاعل الكيميائي التالي:

H2CO3 + CaCO3 - HCO3٢ + +Ca2

أيون الكالسيوم + أيون بيكربونات (مذاب) - كربونات الكالسيوم (ترسيب) + حمض كربونيك (مذاب)

وعندما تفرز الكائنات العضوية الحية الأصداف الكربوناتية، فإنها تعتمد على التفاعل الكيميائي نفسه ولكن بوسائل كيميائية حيوية.

رواسب الكربونات من أصل مختلط: تتكون بعض الرواسب الكربوناتية من رواسب الطين الكربوناتي دقيقة التحبب، والتي نشأت من أصل مختلط (عضوي وغير عضوي)، حيث تتكون هذه الرواسب من كسرات ميكروسكوبية الحجم من الأصداف والطحالب الجيرية، ومعها رواسب غير عضوية.

وتمثل الأرصفة الكربوناتية carbonate platforms بيئات كربوناتية أخرى في كل من العصور الجيولوجية القديمة والحديثة، مثل شواطيء جزر الهياما. وهذه الأرصفة عبارة عن مساحات مستوية ممتدة وضحلة، حيث يتم ترسيب كل من الكربونات الحيوية وغير الحيوية.

ويوجد تحت مستوى الرصيف منحدرات كربوناتية، وهى منحدرات لطيفة نتيجة ناحية المياه العميقة وتتراكم عليها رواسب كربوناتية معظمها دقيقة التحبب.

<u>وفيما يلي وصف لأكثر الصخور الكربوناتية شيوعا:</u>

<u>الحجر الجيري:</u> وهو أكثر الصخور الرسوبية المتكونة بالعمليات الكيميائية الحيوية شيوعا. ويتكون الحجر الجيري limestone أساسا من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) في صورة معدن الكالسيت.

وهناك نوع من الحجر الجيري يسمى كوكينا coquina يتكون من تلاحم أصداف تراكمت على القاع الضحل للبحر بالقرب من الشاطيء. وتتميز هذا الصخر بنسيج فتاتي، ويكون عادة خشن الحبيبات حيث يمكن تمييز الأصداف وفتاتها. أما الطباشير chalk فهو نوع من الحجر الجيري الفتاتي العضوي فاتح اللون مسامي ودقيق الحبيبات، ويتكون من تراكم هياكل كائنات حية ميكروسكوبية بحرية على قاع البحر.

<u>والحجر الجيري السرئي (البطروخي):</u> oolitic limestone هو نوع من الحجر الجيري غير العضوي يتكون نتيجة تلاحم سرئيات oolites وهى كرات صغيرة في حجم حبيبات الرمل (٠,٠٦٢- ٢مم)، وتتكون من الكالسيت غير العضوي الذي ترسب فيماء بحر ضحل دافيء. وتعمل تيارات المد والجزر القوية على دحرجة السرئيات للأمام والخلف يوميا، مما يعمل على ثبات شكلها الكروي أثناء نموها. وقد يساهم تأثير الأمواج في نمو السرئيات (البطروخيات). أما التوفا tufa والترافرتين travertine فهى أحجار جيرية غير عضوية تتميز بنسيج متبلور، وتتكون بترسيب كربونات الكالسيوم من ماء عذب. وتترسب التوفا من محلول مائي يخرج من ينبوع أو بحيرة فوق اليابسة. وقد يتكون الترافرتين في الكهوف عندما تفقد قطرات صغيرة من الماء الغني بالبيكربونات المذابة ثاني أكسيد الكربون نتيجة انخفاض الضغط داخل الكهف.

<u>حجر الدولوميت:</u> وهو من الصخور الجيرية الشائعة أيضا، ويتكون من معدن الدولوميت الذي هو عبارة عن كربونات الكالسيوم والماغنسيوم $CaMg(CO)_3$. وأحجار الدولوميت dolostones أحد رواسب الكربونات والحجر الجيري التي تعرضت لعميات ما بعد الترسيب. ولا يتكون معدن الدولوميت بالترسيب المبتشر من مياه البحر العادية، أي كراسب أولى. كما أنه لا توجد كائنات حية تفرز أصدافاً مكونة من معدن الدولوميت. وبدلاً من ذلك، يتحول الكالسيت أو الأراجونيت المتكون أصلاً في الرواسب الكربوناتيةإلي دولوميت مباشرة بعد الترسيب نتيجة إحلال أيونات الكالسيوم بأيونات ماغنسيوم من ماء البحر الذي يتخلل ببطء مسام الرواسب.

+Ca2+ CaMg(CO3)2 - CaCO3٢ +Mg2

أيون ماغنسيوم + كالسيت - دولوميت + أيون كالسيوم

وعند مقارنة التراكيب الرسوبية والتركيب المعدني وأنسجة الرواسب الكربوناتية المتكونة حاليا بتلك الموجودة في الأحجار الجيرية وأحجار الدولوميت القديمة، يمكن معرفة كيف تكونت الصخور القديمة.

٢ – الرواسب والصخور الرسوبية التبخرية: تتكون الرواسب والصخور الرسوبية التبخرية evaporate sediments and sedimentary rock لا عضويا، من تبخر ماء البحر أو ماء البحيرات المتواجدة في المناطق الجافة القاحلة، والتي لا يغذيها تدفق نهري من الخارج.

المتبخرات البحرية: المتبخرات البحرية marine eveporites هى رواسب وصخور رسوبية كيميائية تكونت نتيجة تبخر ماء البحر. وتحتوي هذه الرواسب والصخور بصفة أساسية على معادن تكونت نتيجة تبلور كلوريد الصوديوم المعروف باسم معدن الهاليت ، وكبريتات الكالسيوم (الجبس والأنهيدريت) شكل واتحاد أيونات أخرى شائعة في ماء البحر. ويصبح ماء البحر أكثر تركيزاً كلما زادت عملية البخر، مما يؤدي إلي تبلور المعادن في تتابع معين. وتتكون بعض المعادن نتيجة الترسيب المباشر (رواسب أولية) بينما تتكون معادن أخرى نتيجة تفاعلات ما بعد الترسيب. ويتغير تركيب ماء البحر باستمرار نتيجة تبخر ماء البحر وترسيب الأيونات الذائبة المكونة لتلك المعادن.

ويوضح الحجم الضخم للمتبخرات البحرية والتي يبلغ سمكها أحيانا بضع مئات من الأمتار، أنها لا يمكن أن تتكون من الكمية الصغيرة من المياه المتواجدة في شرم ضحل أو بركة. لذلك فإن

كمية ضخمة من ماء البحر لابد أن تكون تبخرت. والطريقة التي تتبخر بها كميات ضخمة من ماء البحر تكون واضحة في الأشرم أو أذرع البحر التي تتوافر فيها ثلاثة شروط وهى قلة الماء العذب المتدفق من الأنهار والاتصال المحدود بالبحر المفتوح والمناخ الجاف.

وفي مثل هذه المواقع يتبخر الماء باضطراد، بينما تسمح فتحات لماء البحر بالتدفق لتعويض الماء المتبخر من الشرم. ونتيجة لذلك، تبقى هذه المياه عند حجم ثابت، ولكنها تكون أكثر ملوحة من المحيط المفتوح. وتبقى مياه الشرم فوق مشبعة باستمراروترسب باضطراد معادن تبخرية على قاع الحوض الذي تتم فيه عملية التبخر.

ومعادن الكربونات هى أول الرواسب التي تتكون عندما يبدأ ماء البحر في التبخر، حيث يترسب الكالسيت أولاً، يليه الدولوميت نتيجة لتفاعلات ما بعد الترسيب. ويؤدي التبخر المستمر إلي ترسيب الجبس gypsum، (كبريتات الكالسيوم CaSO4 .2H2O) ، والجبس هو المكون الرئيسي للجص plaster. وباستمرار التبخر، يبدأ معدن الهاليت halite(NaCl) في التبلور، وهو واحد من الرواسب الكيميائية التي تتكون من تبخر ماء البحر . والهاليت هو ملح الطعام المستخدم في حياتنا اليومية. وفي المراحل النهائية من التبخر، وبعد تكون كلوريد الصوديوم، تترسب كلوريدات وكبريتات الماغنسيوم والبوتاسيوم.

وقد درس هذا التتابع الترسيبي معملياً، ووجد أنه يتفق مع تتابع الطبقات الموجود في بعض متكونات الملح الطبيعية. وتتكون معظم رواسب المتبخرات في العالم من تتابعات سميكة من الدولوميت والجبس والهاليت، ولكنها لا تحتوي على رواسب المرحلة النهائية. وقد لا تصل

بعض التتابعات الأخرى إلي تكون معدن الهاليت. ويدل غياب المراحل النهائية على أن ماء البحر لم يتبخر كلية، بسبب تعويض الماء المتبخر بمياه بحر عادية مع استمرار عملية التبخر.

المتبخرات غير البحرية: تتكون رواسب المتبخرات أيضا في بحيرات المناطق الجافة (القاحلة) التي يدخل إليها قليل من المياه العذبة أو ربما لا تدخل إليها أي مياه عذبة على الإطلاق. وفي مثل هذه البحيرات، يتحكم التبخر في مستوى البحيرة، وتتراكم الأملاح المستمدة من التجوية الكيميائية للصخور. ومن الأمثلة المعروفة في العالم لمثل هذه البحيرات بحيرة قارون (بركة قارون) وهى البحيرة الوحيدة المالحة والدائمة والمغلقة في مصر، حيث تقع في الصحراء الغربية في أعمق نقطة من منخفض الفيوم، جنوب غرب القاهرة. وتغطي البحيرة مساحة ٢٤٠كم٢، وهى بحيرة ضحلة يتراوح عمق الماء في معظم أجزائها ما بين ٢ – ٥م، ويصل ارتفاع سطح الماء نحو ٤٥م تحت مستوى سطح البحر. وتتأثر البحيرة بعمليتين أساسيتين هما دخول الماء عن طريق مصرفين ومعدل التبخر العالي، حيث إنها لا تتلقى الماء من النيل مباشرة. ويتراوح المعدل السنوي لدرجة ملوحة ماء البحيرة بين ٣٩,٧ و٤٢,٣جم|لتر.

وفي المناطق الجافة (القاحلة)، قد تتجمع في بعض البحيرات الصغيرة أملاح غير عادية، مثل أملاح البورات (مركبات لعنصر البورون)، وتصبح المياه أكثر قلوية. ويكون الماء في هذا النوع من البحيرات ساما. كما تكون هذه البحيرات مصادر مهمة لبعض الرواسب المعدنية الاقتصادية مثل البورات والنيترات.

يعتبر التشرت: chert من أول الصخور الرسوبية التي استخدمها القدماء في الأغراض العملية. ويتكون التشرت من سيليكا (sio2) مترسبة نتيجة عمليات كيميائية أو كيميائية حيوية. وهو يتميز بصلادته الشديدة وإمكانية تهذيبه وتشكيله، ولذا فقد استخدمه الصيادون القدماء في صناعة أدوات الصيد وخاصة السهام. وللتشرت اسم شائع هو الصوان flint. وتوجد السيليكا في معظم التشرت في شكل كوارتز دقيق التبلور للغاية (خفي التبلور cryptocrystalline). وتكون السيليكا في التشرت الحديث أقل في درجة التبلور (عديمة التبلور) لتكون ما يعرف بالأوبال opal، وهومثل الكوارتز يتكون من ثاني أكسيد السيليكون ولكن يحتوي على نسبة متغيرة من الماء (sio2 n H2O). وتترسب السيليكا أيضا بطريقة كيميائية حيوية، مثل كربونات الكالسيوم، حيث تفرز الكائنات الحية التي تعيش في المحيط السيليكات على هيئة أصداف. وعندما تموت هذه الأحياء، فإنها تغوص إلي قاع المحيط العميق حيث تتراكم أصدافها على هيئة طبقات من راسب السيليكا. وبعد دفن هذه الرواسب السيليكية تحت رواسب أخرى أحدث، فإن مكوناتها تتلاحم نتيجة عمليات ما بعد الترسيب (الكبس) لتكون التشرت. كما يتواجد التشرت أيضا في هيئة عقيدات nodules (العقيدة هى كتلة مدورة أو منتظمة دون تركيب داخلي معين) وكتل غير منتظمة نتيجة عمليات ما بعد الترسيب وإحلال الكربونات في الحجر الجيري والدلوميت.



٤ – تكوين الرواسب بعمليات ما بعد الترسيب:

فوسفوريت الفوسفوريت أحد الرواسب الكيميائية والكيميائية الحيوية التي تترسب في البحر. ويسمى الفوسفوريت phosphorite أحيانا بصخر الفوسفات phosphate rock وهو يتكون من فوسفات الكالسيوم، التي ترسبت من ماء بحر غني في الفوسفات في أماكن على امتداد حواف القارات، حيث تصعد تيارات الماء العميق البارد، والمحتوية على الفوسفات بعمليات ما بعد الترسيب نتيجة التفاعل بين رواسب طينية أو بركاناتية والماء الغني بالفوسفات.

– **رواسب أكسيد الحديد:** مصدر لمتكون الحديد متكونات الحديد iron formations عبارة عن صخور رسوبية تحتوي عادة على أكثر من ١٥% حديد، في شكل أكاسيد وسيليكات وكربونات.

وقد تكونت معظم هذه الصخور في فترة مبكرة من التاريخ الجيولوجي، حيث كانت نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي أقل من النسبة الحالية. ونتيجة لذلك، كان الحديد أسهل في الذوبان، حيث نقل الحديد الذائب إلي البحر وترسب.

– **المادة العضوية مصدر للفحم والنفط والغاز:** تتكون الصخور الرسوبية العضوية organic sedimentary rocks كليا أو جزئيا من رواسب عضوية غنية بالكربون، تكونت نتيجة تحلل مكونات الكائنات التي كانت حية يوما ما ثم دفنت. والفحم عبارة عن صخر رسوبي تكون بطريقة كيميائية حيوية. وهو يتكون من كربون عضوي تكون نتيجة عمليات ما بعد الترسيب (الدفن) لنباتات المستنقعات.

والزيت الخام oil crude والغاز الطبيعي natural gas هى سوائل وغازات لا تصنف عادة مع الصخور الرسوبية، ولكن يمكن اعتبارها رواسب عضوية لأنها تتكون نتيجة عمليات ما بعد الترسيب لمادة عضوية في مسام الصخور الرسوبية. ويؤدي الدفن العميق للمادة العضوية والمترسبة أصلا مع رواسب غير عضوية لتحولها إلي سائل يهاجر إلي صخور أخرى مسامية، حيث يحبس فيها ويمنع من الوصول إلي سطح الأرض لوجود طبقة غير مسامية تقع فوق الطبقة

الحاوية له. وغالبا ما يتواجد النفط والغاز في صخور الحجر الرملي لمساميتها ونفاذيتها العالية، وأيضا الحجر الجيري لاحتوائه على شروخ وفواصل.

التراكيب الرسوبية :

تتكون كثير من التراكيب والتي يطلق عليها التراكيب الرسوبية sedimentary structures، والتي تعرف أيضا بالتراكيب الرسوبية الأولية primary sedimentary structures أثناء ترسيب الصخور الرسوبية او بعد ترسيبها بفترة قصيرة. وترجع أهمية هذه التراكيب إلي أنها تمد الجيولوجين بالأدلة عن كيفية نقل الراسب، ومكان أو بيئة ترسيبه. كما تساعد التراكيب الرسوبية في تحديد التتابع الستراتجرافي الصحيح للطبقات، حيث توجد أقدم طبقة عند قاع التتابع، وتكون الأحداث لأعلى عند قمته. ويساعد تحديد التتابع الاستراتجرافي في استنتاج وضع الصخور التي تصدعت أوطويت في المناطق النشطة تكتونيا.

ونعرض فيما يلي وصفا لبعض هذه التراكيب:

أ – التطبق :

يعتبر التطبق stratification أو bedding صفة أو سمة مميزة للرواسب والصخور الرسوبية. وتدل الطبقات strata (مفردها طبقة stratum) المتوازية والمكونة من حبيبات مختلفة الحجم او التركيب،على وجود أسطح ترسيب متتالية تكونت وقت الترسيب. وتفضل الطبقات أسطح التطبق bedding planes، وهى أسطح منبسطة، تميل الصخور أن تنفصل على امتدادها. ويؤدي التغير في حجم الحبيبات أو تركيب الراسب إلي نشأة أسطح التطبق. وقد يؤدي توقف الترسيب إلي التطبق أيضا، حيث أن المادة الجديدة لا تكون مثل المادة القديمة تماما. وقد تكون الطبقات رقيقة، حين يكون سمكها سنتيمترات أو ميلليمترات وتسمي رقائق laminae، بينما قد يصل سمك الطبقات إلي أمتار. ويعكس سمك الطبقة استمرار عملية الترسيب. وعادة ما تكون الرواسب أفقية التطبق، إلا أن الصخور الرسوبية تحتوي أيضا على أنواع أخرى عديدة من التطبق، والتي لا تكون كلها أفقية.



التطبق

ب - التطبق المتقاطع:

يتكون التطبق المتقاطع cross - bedding من مجموعات من الطبقات المائلة الرقيقة(الرقائق) داخل طبقة صخرية أكبر ، والتي ترسبت بواسطة الرياح أو المياه، وتميل هذه الرقائق بزاويا قد تصل إلي ٣٥ عن الأفقي. ويتكون هذا النوع من التطبق حينما تترسب الحبيبات بواسطة الرياح على المنحدرات الحادة للكثبان الرملية على اليابسة أو في الحواجز الرملية في الأنهار وعلى قاع المحيطات أو في الدلتاوات عند مصبات النهار. ويشيع التطبق المتقاطع في الحجر الرملي، كما يتواجد أيضا في الجرول وبعض الرواسب الكربوناتية. ويكون التطبق المتقاطع ظاهرا في الحجر الرملي عنه في الرمال المفككة.

Cross-bedding structures



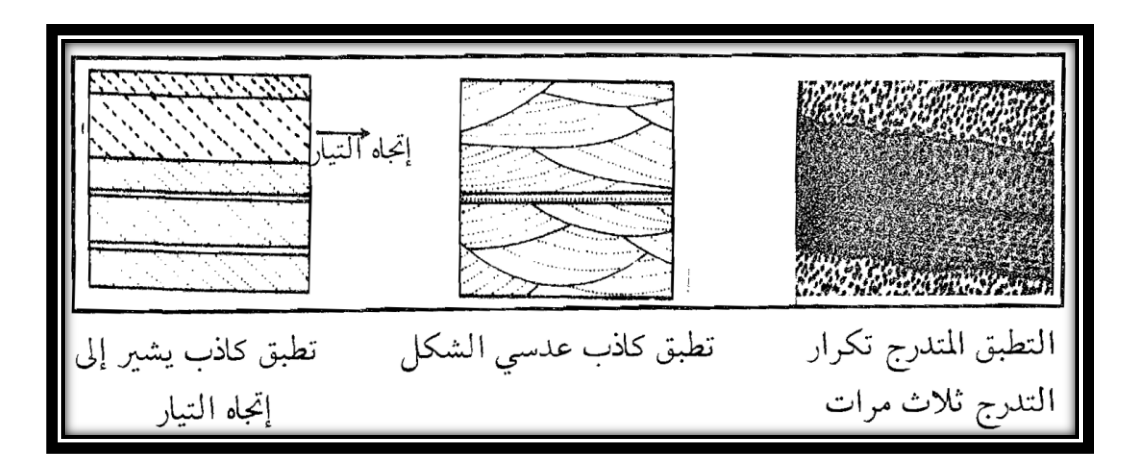
ج - التطبق المتدرج:

يتمثل التطبق المتدرج graded bedding في أن الحبيبات خشنة التحبب تتواجد عند قاعدة الطبقة، ثم يقل حجم الحبيبات تدريجيا كلما اتجهنا إلي أعلى الطبقة . ويعكس هذا التدرج في حجم الحبيبات تضاؤل سرعة التيار الذي أدي إلي الترسيب. ويتراوح سمك الطبقة المتدرجة والتي تحتوي على مجموعة واحدة من الطبقات الخشنة إلي الدقيقة من عدة سنتيمترات إلي عدة أمتار.



Graded bedding

وتترسب مجموعات الطبقات المتدرجة التي قد يبلغ سمكها الكلي عدة مئات من الأمتار في مياه المحيط العميقة بواسطة تيارات العكر turbidity currents التي تتحرك على قاع المحيط. ويساعد التطبق المتدرج في تعرف الطبقات المقلوبة.



تطبق كاذب يشير إلى إتجاه التيار — تطبق كاذب عدسي الشكل — التطبق المتدرج تكرار التدرج ثلاث مرات

د - علامات النيم :

علامات النيم ribble marks عبارة عن كثبان صغيرة جدا من الرمل أو الغرين تنشأ على سطح الطبقات الرسوبية بحيث يكون امتدادها الطويل متعامدا على اتجاه التيار. وتتكون من سلسلة من التلال أو التموجات المنخفضة والضيقة التي قد يصل ارتفاعها إلي سنتيمتر أو اثنين تفصلها قيعان أكثر اتساعا. وتتواجد هذه العلامات على أسطح الرمال الحديثة، كما تتواجد أيضا على أسطح طبقات الحجر الرملي القديم . وكما أسلفنا فإنها ترى على أسطح الكثبان المتكونة من

تذرية الرياح أو في الحواجز الرملية تحت الماء في مجاري المياه الضحلة أو تحت الأمواج الشاطئية. ويمكن التمييز بين علامات النيم المتماثلة symmetrical ripples وتسمى أيضا بعلامات نيم التأرجح، والتي تنشأ بفعل حركة الأمواج السطحية جيئة وذهابا على الشاطيء، وبين علامات النيم غير المتماثلة asymmetrical ripples والتي تتكون من التيارات التي تتحرك في اتجاه واحد فوق حواجز رملية في النهر، أو كثبان رملية تكونها الرياح . ويشير وجود هذه العلامات في الصخور الصلبة إلي اتجاه حركة الرياح أو تيارات الماء القديمة.

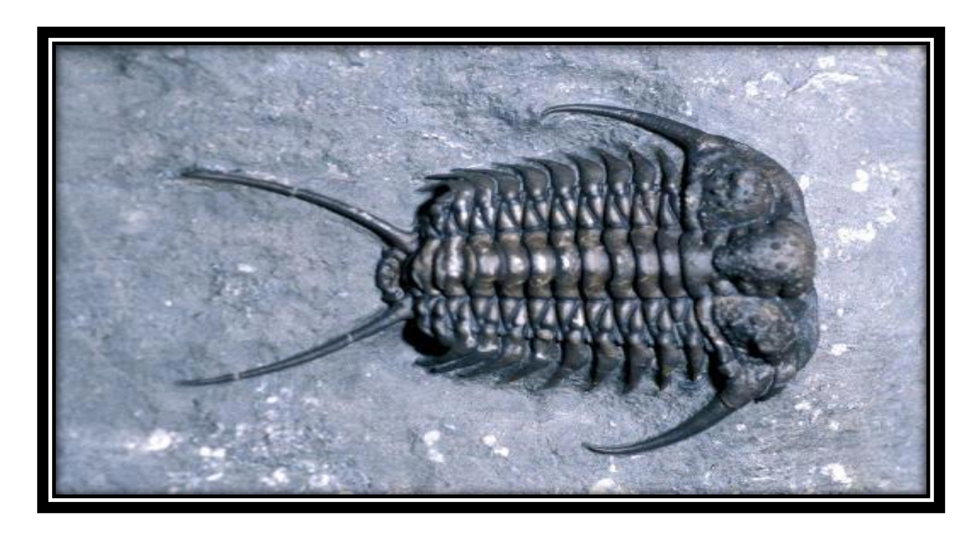




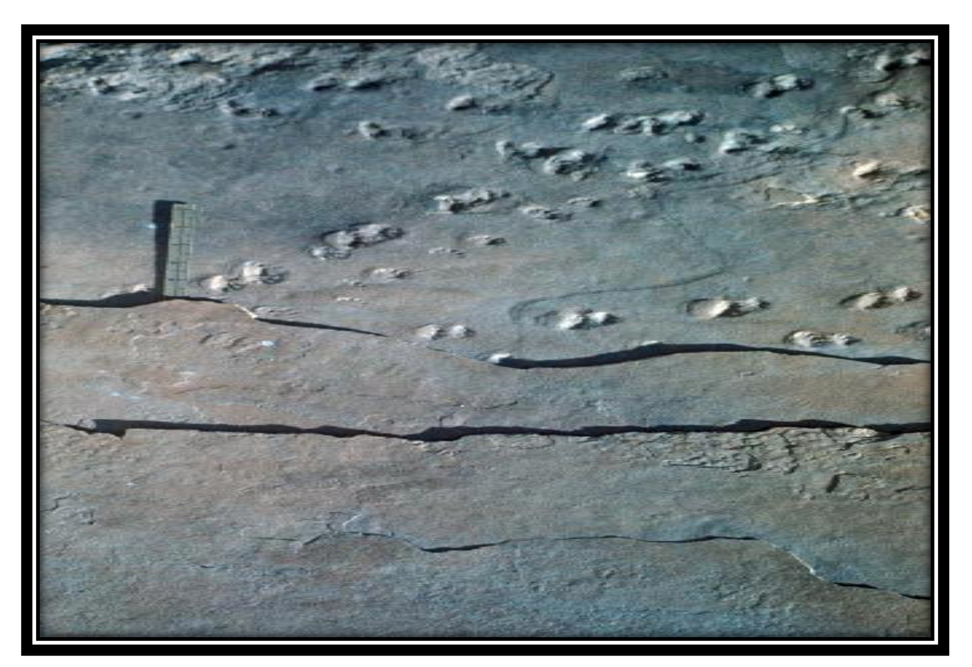
Ripples on sandy beach in southern Alaska

هـ - تراكيب التقليب الحيوى (الاضطراب الحيوى) :

ينشأ تركيب التقليب الحيوي (الاضطراب الحيوي) bioturbation حينما تقوم الكائنات الحية مثل الديدان وغيرها بحفر مسالك أو أنفاق لها في طين ورمال رواسب قاع البحر. ويترتب على ذلك تغير في شكل أسطح الطباقية في عديد من الصخور الرسوبية، كما قد تخترق تلك الأنابيب الأسطوانية التي قد يبلغ قطرها عدة سنتيمترات أسطح الطباقية، وتمتد رأسيا خلال عدة طبقات. وتتغذي هذه الكائنات الحية على الرواسب حيث أنها تحتوي على قدر ضئيل من المواد العضوية وتخلف وراءها الرواسب التي تملأ تلك المسالك. وتستخدم تلك التراكيب في تعرف سلوك الكائنات الحية التي قامت بحفر المسالك خلال الرواسب، وبالتالي إعادة بناء البيئة الرسوبية.



Trilobite.



Animal footprints in Coconino Sandstone of Aubrey Cliffs.

تشققات الطين mud cracks هى نمط مضلع من التشققات، ينشأ في الرواسب دقيقة الحبيبات من تناوب فترات المطر الخفيف والجفاف . ويحدث تشقق الطين أثناء فترات الجفاف. وحيث إن الجفاف يتطلب وجود الهواء، لذلك تتكون تشقاق الطين في رواسب قيعان البحيرات عندما تجف، أو في رواسب الفيضان عندما ينخفض مستوي النهر. وقد يتصخر الطين المتشقق ليكون صخر الطفل، الذي يحتفظ بالشقوق التي قد تملؤها الرمال الناعمة التي تذروها الرياح. كما تتميز أسطح الطين والرمال الناعمة بطبعات المطر rain.



تشققات الطين.

ز - التتابعات الطبقية :

التتابعات الطبقية bedding sequences هى أنماط لتتابعات متداخلة interbedding مع بعضها بعضا من الحجر الرملي والطفل وأنواع أخرى من الصخور الرسوبية. وتساعد طبيعة هذه التتابعات الطبقية في استنتاج البيئات التي تكونت فيها هذه الرواسب. ويوضح شكل دورة طميية، وهى دورة من تتابعات طبقية كونتها النهار. ويرسب النهر دورات متكررة من التتابعات الطبقية، والتي تتدرج فيها الرواسب عند القاعدة من طبقات خشنة الحبيبات ذات تطبق متقاطع كبير إلي طبقات أدق في حجم الحبيبات ذات تطبق متقاطع صغير، ثم إلي طبقات أفقية عند القمة. وتتكون هذه الرواسب عند حركة النهر جانبيا على قاع الوادي. كما يمكن استخدام تتابعات طبقية مميزة أخرى لمعرفة ظروف الترسيب عند خط الشاطيء وفي البحر العميق .

وترتبط التراكيب الرسوبية ببيئات الترسيب التي تكونت فيها. فالشكل الهندسي للتطبق المتقاطع في رمال الصحراء يعكس الاتجاه السائد للرياح أثناء الترسيب، بينما يقتصر وجود التطبق المتدرج على رواسب المنحدر القاري والبحر العميق. حيث يتم الترسيب بنوع خاص من تيارات القاع يسمي تيارات العكر. ولا يتواجد التطبق المتدرج تقريبا في بيئات خط الشاطيء الضحل.

بيئات الترسب :

تعرف بيئة الترسيب depositional environment بأنها منطقة من الأرض محددة جغرافيا، تتميز بوجود مجموعة من العمليات الجيولوجية والظروف البيئية المميزة لها.

وتتضمن هذه الظروف البيئية: • **نوع وكمية الماء** سواء كانت في محيط أو بحيرة أو نهر أو أرض قاحلة جافة. • **التضاريس،** سواء كانت أراض واطئة أي منخفضة lowland أو جبالا أو سهول ساحلية coastal plains أو محيطات قليلة العمق أو محيطات عميقة. • **النشاط الحيوي:** وتشمل العمليات الجيولوجية المؤثرة على بيئة الترسيب طبيعة التيارات التي تنقل وترسب الرواسب مثل الماء أو الريح أو الجليد، والأوضاع التكونية التي قد تؤثر على الترسيب ودفن الرواسب، ووجود نشاط بركاني. وهكذا، فإن البيئة الشاطئية مثلا، تجمع بين ديناميكية الأمواج التي تقترب وتتكسر على الشاطيء والتيارات الناتجة عنها وتوزيع الرواسب على الشاطيء.

وترتبط بيئات الترسيب بكل من تكتونية الألواح والمناخ، حيث ترتبط رواسب الطمي السميكة بالجبال المتكونة نتيجة تصادم القارات، كما توجد الخنادق العميقة في المحيطات عند نطاقات الاندساس. وتوجد بيئات ترسيب الطمي أيضا على امتداد حواف وديان الخسف rift valleys فوق القارات. أما بالنسبة للمناخ فإن بيئة الصحراء تحتم وجود مناخ جاف قاحل، بينما تحتاج البيئة الجليدية لمناخ بادر.

ويجب التنويه إلي أن بيئة الترسيب قد تكون موضعا للترسيب أو موضعا للتعرية. ويمكن القول بصفة عامة أن البيئات القارية (تحت الهوائية) تعد نموذجا لمناطق تسودها عمليات التعرية أساسا، بينما تمثل البيئات البحرية (تحتمائية) نموذجا لمناطق تسودها غالبا عمليات الترسيب. وهناك بعض البيئات الانتقالية التي تتحول من التعرية إلي الترسيب خلال فترة زمنية واحدة، مثل بيئة وديان الأنهار.

وقد كان تأثير الإنسان شديدا في بعض البيئات. حيث قام ببناء حواجز لصد الأمواج وحماية الشواطيء، مماأدي إلي تغير شكل الشواطيء كثيرا. كما تغيرت البيئات الجافة القاحلة إلي بيئات رطبة في داخل وحول بعض المدن مثل بعض مدن المملكة العربية السعودية، بسبب نقل المياه أو تحليتها لاستخدامها في زراعة الصحراء. كما قد تتوسع البيئات الصحراوية لتضم بيئات مجاورة لها أقل جفافا. كما قد تتغير بيئات المجاري المائية بسبب إنشاء السدود أو شق القنوات الصناعية. وقد يتغير التراكيب الكيميائية للمياه في البحيرات وشواطيء المحيطات نتيجة صرف المياه الملوثة فيها.

وتصنف بيئات الترسيب إلي بيئات قارية تقع فوق القارة، وبيئات خط الشاطيء وتقع بالقرب من الشواطيء، وبيئات بحرية وتقع في المحيطات.

<u>وفيما يلي وصف لهذه البيئات:</u>

<u>أ - البيئات القارية:</u>

تتنوع بيئات الترسيب التي توجد على القارات، بتنوع درجات الحرارة وهطول الأمطار على سطح الأرض. وتتواجد البيئات القارية environments continental (تعرف أيضا بالبيئات الأرضية environments terrestrial) حول الأنهار وفي الصحاري والبحيرات والمثالج.

<u>وفيما يلي وصف مختصر لأنواع البيئات القارية المختلفة:</u>

<u>١ - البيئة النهرية:</u> environment fluvial وتعرف أيضا بالبيئة الطميية environment alluvial، وتشمل مجري النهر وحوافه ومسطح الوادي على جانبية، والذي يتغطي بالماء أثناء الفيضان. وحيث إن الأنهار توجد دائما على القارات، فإن الرواسب الطميية تنتشر على القارات. وتتواجد الكاءنات الحية بوفرة في رواسب الفيضان الطينية، ممايؤدي إلي تكون الرواسب العضوية. وتتراوح المناخات من الجاف إلي الرطب.

<u>٢ - البيئة الصحراوية</u>: environment desert وهى بيئة جافة وقاحلة. وتتكون الرواسب في هذه البيئة بفعل الرياح، بالإضافة لعمل الأنهار التي تفيض موسميا. وحيث إن المناخ الجاف القاحل يقلل من نمو الكائنات الحية، فإن تأثيرها يكون محدودا على الرواسب التي تتكون في هذه البيئة. وتشير الكثبان الرملية إلي بيئة رملية خاصة.

وتشمل البيئة الصحراوية بالإضافة للكثبان الرملية بحيرات البلايا والمراوح الطميية. أما بحيرات البلايا playa lakes فهي بحيرات دائمة أو مؤقتة تشغل الوديان أو الأحواض الجافة(القاحلة)، وعندما يتبخر ماؤها تصبح بلايا playas ، وهى طبقات مسطحة من الصلصال تغطيها أحيانا قشرة من الأملاح. أما المروحة الطميية alluvial fan فهى عبارة عن جسم من الرواسب الطميية التي تشبه المروحة، وتتكون عندما ينساب مجري مائي في واد شديد الانحدار يتحول فجأة إلي سهل طميي أو واد مستو القاع، مما يؤدي إلي حدوث الترسيب.

<u>٣ - بيئة البحيرات:</u> lake environment وهى بيئة تتحكم فيها تيارات المياه العذبة أو المالحة، الضعيفة أو المتوسطة القوة داخل البحيرة. وقد تكون بحيرات المياه العذبة أماكن للترسيب الكيميائي لمواد عضوية وكربونات. أما البحيرات المالحة، مثل تلك التي توجد في الصحراء،

فإنها تتبخر وترسب مجموعة متنوعة من معادن المتبخرات مثل الهاليت والجبس. ٤ - البيئة الجليدية environment glacial وهى بيئة تتأثر بديناميكية حركة كتل الجليد، كما تتميز بالمناخ البارد ووجود الحياة النباتية والتي يكون تأثيرها محدود على الرواسب التي تتكون فيها. كما تتكون عند الحافة المنصهرة للمثلجة بيئة طميية انتقالية في مجاري الماء المنصهر.

ب - بيئات خط الشاطيء:

تتميز بيئات خط الشاطيء shoreline environment بضحالتها وسيادة نشاط الأمواج، وحركات المد والجزر، وكذلك تأثير التيارات على الشواطيء الرملية. وقد تتواجد الكائنات الحية بوفرة في هذه المياه، ولكن لا يؤثر هذه الكائنات على ترسيب المواد الفتاتية إلا في المناطق التي توجد بها رواسب الكربونات بوفرة.

وتتضمن بيئات خط الشاطيء:

١ **- بيئة الدلتا**: environment deltaic وتكون عند التقاء الأنهار بالبحيرات أو البحار.

٢ **- بيئة مسطح المد والجزر**: environment tidal flat حيث تسود تيارات المد والجزر مساحات واسعة مكشوفة في وقت الجزر.

٣**- بيئة الشاطيء**: environment beach وتتميز بنشاط الأمواج القوية التي تقترب من الشاطيء وتتكسر علية، وتعمل على توزيع الرواسب على الشاطيء. وتترسب في هذه البيئات أشرطة من الرمل والحصى بفعل الأمواج.

٤ **- بيئة الخليج النهري:** (مصب النهر) estuary، وهى بيئة تنشأ عند مصب النهر.وتتكون هذه البيئة في المناطق الضحلة القريبة من الشاطيء، حيث يوجد مسطح مائي مغلق يصب فيه نهر، يعمل على تخفيض درجة ملوحة الماء داخل المسطح المائي بشكل تدريجي.

٥ **- بيئة البحيرات الشاطئية (اللاجون):** حيث يتكون اللاجون lagoon من منطقة مستطيلة ضحلة من البحر، تنفصل عنه بجزر حاجزة barrier islands.

ج - البيئات البحرية:

تشمل البيئات البحرية environment marine عددا من البيئات الأصغر subenvironments. وتصنف البيئات البحرية عادة على أساس عمق المياه، كما تقسم أيضا بناءا على المسافة التي تفصلها عن اليابسة إلي البيئات التالية:

١ **- بيئات الرف القاري**: environment continental shelf وتوجد في المياه الضحلة البعيدة عن الشواطيء القارية، حيث تتحكم التيارات المعتدلة نسبيا في عملية الترسيب. وقد تتكون رواسب فتاتية عند وجود مصدر للفتاتيات، أو كيميائية عند وجود كائنات حية ذات هيكل جيري، أو متبخرات عند وجود بخر كثيف للماء.

٢ - بيئات الحافة القارية: environment continental margin وتوجد في المياه العميقة عند حواف القارات، حيث تتكون الرواسب بفعل تيارات التعكر turbidity currents.

٣- الشعاب العضوية: organic reefs وتتكون من تراكيب كربوناتية قامت ببنائها الكائنات الحية التي تفرز الكربونات، على الرفوف القارية أو على الجزر المحيطية البركانية.

٤- بيئات البحر العميق: environment deep – sea وتضم كل قيعان المحيطات العميقة البعيدة عن القارات، حيث تعكر تيارات المحيط أحيانا المياه الهادئة. وتضم هذه البيئات الخنادق العميقة deep trenches في المحيطات، والتي تتواجد عند نطاق الاندساس، وحيود وسط المحيط mid – ocean ridges والتي تقع فوق حدود الألواح المتباعدة، وسهول الأعماق abyssal plains المسطحة، التي تكونت نتيجة تيارات التعكير التي تحركت بعيدا عن حواف القارات.

ويشير تعدد البيئات المتواجدة على سطح اليابسة إلي أن هناك عددا لا نهاية له من بيئات الترسيب، ولكن ليس هناك بيئتان متماثلتان تماما، كما تتداخل البيئات المختلفة مع بعضها البعض فوق سطح الأرض.

د - السحنات الرسوبية: تواجد مجموعة من البيئات الرسوبية مع بعضها البعض تعكس التتابعات الطبقية الرأسية التغير في ظروف الترسيب عبر الزمن، بينما يعكس التغير الأفقي في مكونات الطبقة الواحدة التغير في بيئات الترسيب القديمة من موضع لآخر في الزمن نفسه. مثال: تترسب الرمال الخشنة قرب الشاطيء، كما تترسب الرواسب الكربوناتية في الأعماق الأكبر. وهكذا تترسب رواسب مختلفة النوعية، ولكنها متجاورة في وقت واحد . وتتميز كل وحدة من هذه الوحدات بمجموعة من الخصائص التي تعكس ظروف الترسيب، ويستخدم سحنات facies لوصف تلك المجموعات من الرواسب.

ويمكن **تعريف السحنة الرسوبية** sedimentary facies بأنها مجموعة الخصائص الصخرية والحيوية التي تميز أي راسب موجود في جزء محدود المساحة من وحدة رسوبية، ويمكن تمييزه عن خصائص غيره من الرواسب المزمنة له، التي ترسبت في بيئة رسوبية مختلفة. وتتميز السحنة بمجموعة من الخصائص مثل:حجم الحبيبات وشكلها، ولون الصخر وتركيبه المعدني والكيميائي، والتراكيب الرسوبية، والمحتوي الحفري.

وتتميز بيئات الترسيب بأنواع السحنات المتواجدة بها. فتكون معظم رواسب البيئات النهرية(الطميية) فتاتية، بينما تكون معظم رواسب الشعاب المرجانية وبيئات الرصيف القاري الكربوناتي ضحلة العمق رواسب كيميائية حيوية. ولذلك، فإن بعض الجيولوجيين يقسمون البيئات الرسوبية طبقا للمجموعة السائدة في الترسيب.

وعلى هذا الأساس تصنف بيئات الترسيب عامة إلى مجموعتين رئيسيتين، هما:

١-بيئات الترسيب الفتاتية.

٢-بيئات الترسيب الكيميائية والكيميائية الحيوية.

ـ الترسيب وتكتونية اللواح:

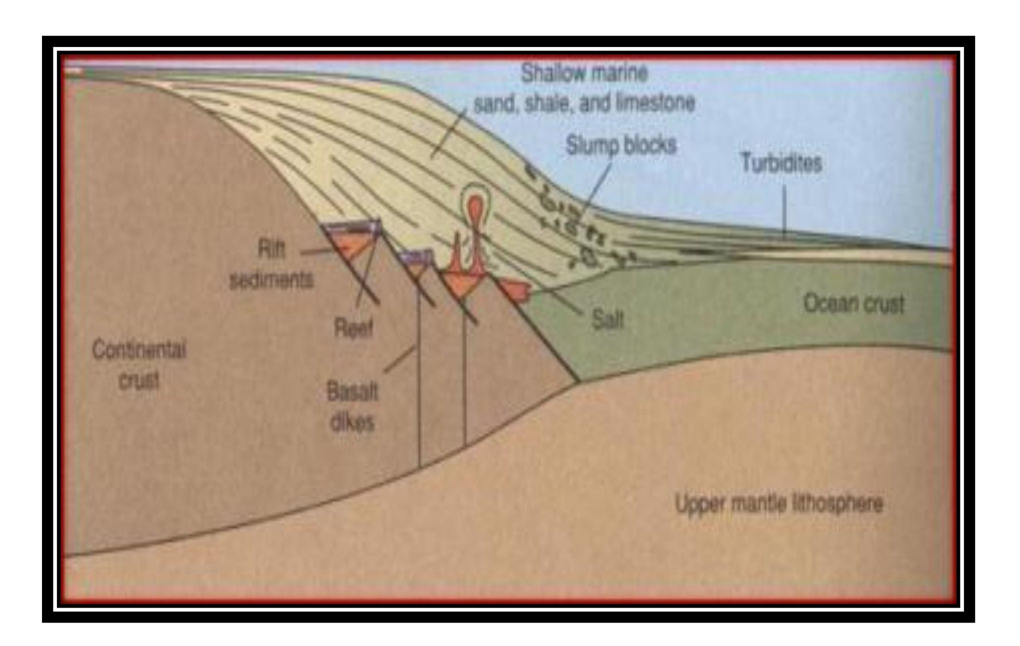
تأتي الطاقة المؤثرة في عملية الترسيب أساساً، من مصدرين رئيسيين هما حرارة الأرض الداخلية والشمس. وتعمل الطاقة الحرارية في الأرض، والتي تعتبر المصدر الأساسي للطاقة في تكتونية الألواح، على تحريك الغلاف الصخري وكذلك رفع الأرض. وينتقل الراسب الناتج عن عملية تجوية وتعرية الصخور الموجودة في المناطق العالية عبر المنحدرات إلي البحر، ثم في النهاية إلي المحيط تحت تأثير الجاذبية الأرضية. وتعتبر المجاري المائية والمثالج وأمواج وتيارات المحيط عوامل نقل رئيسية للرواسب، وهى جزء من الدورة المائية التي تستمد طاقتها من الإشعاع الشمسي.

وتكون معدلات الترسيب عالية بالقرب من المناطق العالية والنشطة تكتونيا، بينما تقل هذه المعدلات كثيرا في المناطق الداخلية من القارات الثابتة نسبيا، كما تكون أقل كثيرا في البحار العميقة التي تكون بعيدة عن مصادر الرواسب الأرضية. وفي المناطق النشطة تكتونيا، تزيد

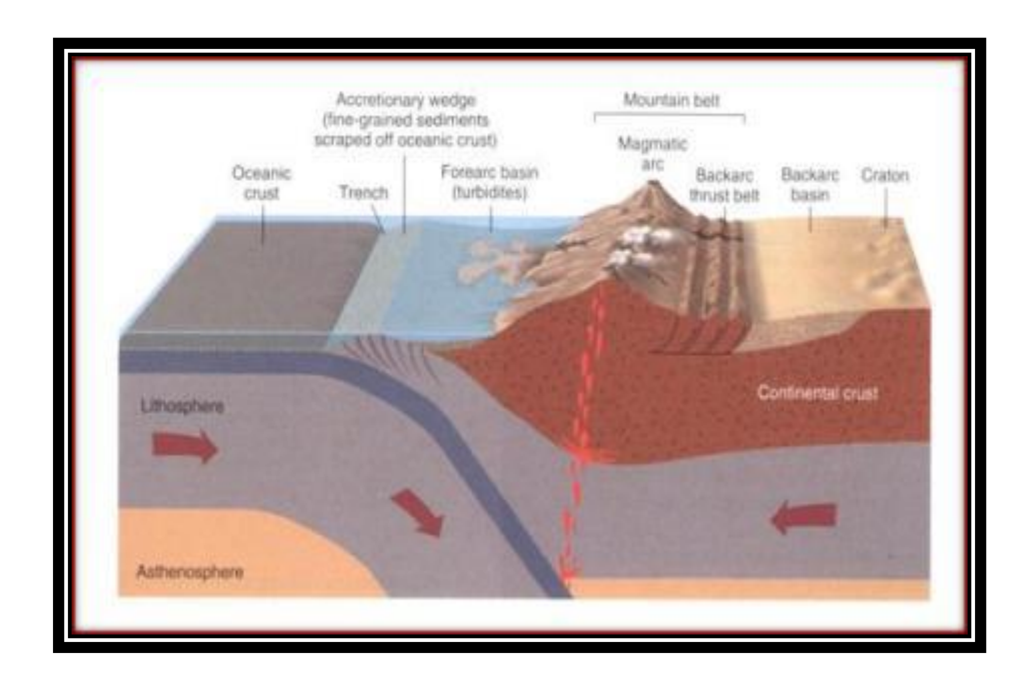
معدلات الرفع عن معدلات التعرية، مما يجعل سلاسل الجبال المرتفعة ملامح بارزة على سطح الأرض. وتوضح الصخور الرسوبية البحرية المنكشفة عند قمة جبل إفرست في سلسلة جبال الهيمالايا أن هذه الرواسب رفعت نحو ٩كم على الأقل بعد ترسيها منذ نحو ١٠٠مليون سنة مضت في بحر ضحل. وهذا يؤكد أن الرواسب القديمة التي ترسبت على قاع المحيط قد تحولت إلي صخور أضيفت إلي القارة ورفعتها القوى التكتونية.

وتوجد تراكمات طبقية سميكة للغاية في مواضع تكتونية معينة على الألواح، فيؤدي مثلا انشطار القارات عند مراكز الانتشار (الحدود المتباعدة) إلي تراكم أوتاد رسوبية sedimentary wedges على امتداد الحواف القارية الجديدة نتيجة نقل الرواسب بواسطة المجاري المائية إلي حوض المحيط المستمر في النمو والتزايد. وتمثل حافة المحيط الأطلنطي عند أمريكا الشمالية مثالا لهذه العملية . ويتكون جزء كبير من الطبقات السميكة المتراكمة تحت الرف القاري من صخور رسوبية بحرية ضحلة، مما يدل على أن هذا الوتد الرسوبي قد هبط ببطء أثناء عملية التراكم.

كما قد تتراكم الرواسب بالمجاري المائية من سلسلة جبال صاعدة في أحواض ترسيب مجاورة لنطاقات تصادم القارات continental collision zones . وتمثل سلسلة قوس جبال الهيمالايا – هندوكوش Himalaya – Hindu kush mountain arc في جنوب ووسط آسيا مثالا واضحا لذلك.

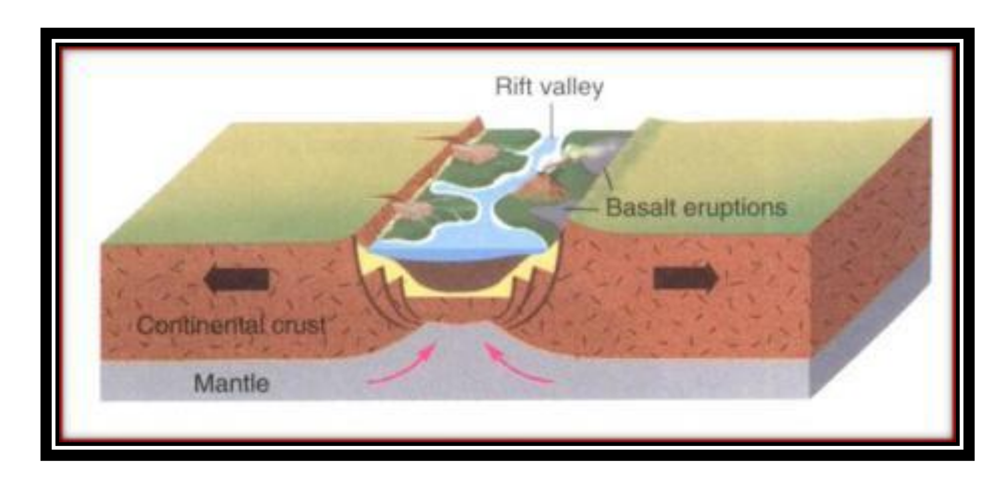


الخصائص التركيبية والرسوبية للحافة الخاملة المتكونة نتيجة انفصال القشرتين القاريتين عند مناطق التشقق أو الانهدامات القارية (Hamblin and Christiansen, 1997).

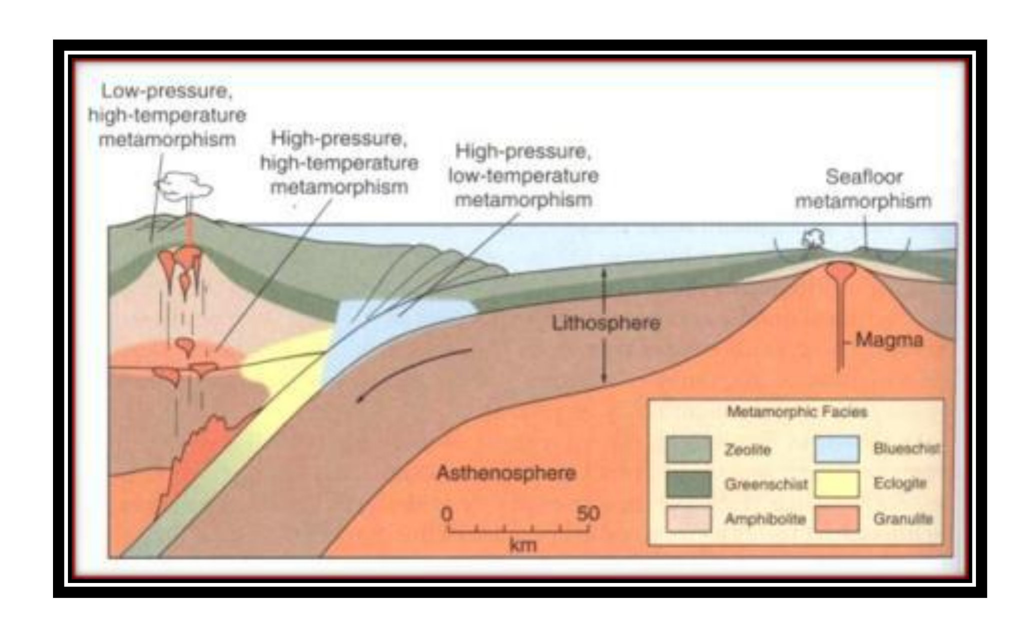


الصخور الرسوبية عند حافات الأطباق التقاربية، تحديداً نطاق الغوران المتكون من تقارب قشرة محيطية من اخرى قارية. يلاحظ وجود حوضين ترسيبيين على جانبي السلسلة الجبلية، الأول باتجاه القارة ويعرف بالحوض الخلفي (Backarc Basin) والثاني باتجاه البحر ويعرف بالحوض الأمامي (Forearc Basin) والذي ينتهي عند حافة الخندق المحيطي (Plummer *et al.*, 2003).

وتتساقط الرواسب في الخنادق المحيطة على امتداد نطاقات الاندساس subduction zones النشطة بالقرب من الحواف القارية وتتراكم بمعدلات عالية لتتكون تتابعات سميكة، كما هو الحال على امتداد الحافة الغربية لأمريكا الجنوبية . وتشمل الرواسب الفتاتية المتراكمة نسبة عالية من الفتات البركاني، حيث تكون البراكين عادة مصاحبة لتلك الأحزمة التكتونية. وعندما يقترب اللوح المحيطي ببطء من الحافة القارية، تحشر الرواسب وتسحق على امتداد القارة وتصبح جزءا من القارة. ويعاد تدوير الرواسب بهذه الطريقة من القارة إلي المحيط، ثم مرة أخرى إلي القارة، حيث يسبب الرفع المستمر بدء العملية من جديد وتكرار هذه الدورة.



الصخور الرسوبية عند حافات وادي التشقق والتي تتكون من تجمع رسوبيات فتاتية قارية ورواسب البحيرات المتبخراتية في حالة كون المناخ جافاً (Plummer *et al.* 2003).



علاقة سحنات التحول بحافات الأطباق التكتونية التباعدية والتقاربية ودور كل من الضغط ودرجة الحرارة والمحاليل الكيميائية في تحديد نوع السحنات التحولية (Hamblin and Christiansen, 1998).

الفصل الخامس: الصخور المتحولة



يؤدي الارتفاع في درجات الحرارة والضغط والتغير في البيئة الكيميائية إلي تغير التركيب المعدني وأنسجة تبلور الصخور الرسوبية والنارية على الرغم من بقاء تلك الصخور في الحالة الصلبة طوال عملية التحول وتسمى الصخور المتكونة بالصخور المتحولة. ويحدث التحول في شكل الصخر بسبب حدوث تغيرات في التركيب المعدني أو النسيج أو التركيب الكيميائي أو في الثلاثة معا. فمثلاً، قد يتحول صخر الحجر الجيري الغني بالحفريات إلي صخر رخام أبيض لا يوجد به أي أثر للحفريات. وقد يبقى صخر ما مكون أصلاً من بلورات صغيرة من الكالسيت ولكن قد يحدث التغير في النسيج بدرجة كبيرة حيث يتكون صخر به بلورات كبيرة متداخلة. وقد يتغير الطفل وهو صخر جيد التطبق دقيق التحبب لدرجة أنه لا يمكن رؤية حبيبات المعدن بالعين المجردة إلي شكل ينطمس فيه التطبق وتتكون بلورات كبيرة من الميكا تتلألأ في ضوء الشمس. وفي هذا التحول يتغير التركيب المعدني والنسيج كلية بينما يبقى التركيب الكيميائي العام للصخر دون تغير. وقد تتغير بعض الصخور من خلال تغير التركيب المعدني والنسيج والتركيب الكيميائي حيث يحدث التغير بالحرارة والسوائل المستمدة من النشاط الناري.



ويتناول هذا الفصل أسباب التحول وأنواعه، وأصل الأنسجة المختلفة التي تميز الصخور المتحولة، والعلاقة بين التحول وتكتونية الألواح:

حدود التحول:

قبل مناقشة عملية التحول بالتفصيل يتحتم أن نعين حدود عملية التحول. حيث يصف التحول كل التغيرات التي تحدث في التركيب المعدني ونسيج الصخور الرسوبية والمتحولة التي تعرضت لدرجات حرارة أعلى من ٢٠٠م وضغوط أعلى من ٣٠٠ميجاباكسال (الضغط الناتج عن عدة آلاف من الأمتار بسبب الصخور التي تعلوها ووحدة الضغط هى الباسكال، وللسهولة يستخدم أحيانا ١ مليون باسكال – ميجا باسكال أو mpa كوحدة). ولا يشمل التحول التغيرات التي تحدث

نتيجة التجوية أو عمليات ما بعد الترسيب لأن كلاُ من التجوية وعمليات ما بعد الترسيب تحدثان عند درجات حرارة أقل من ٢٠٠ وضغط أقل من ٣٠٠ميجاباكسال.

وهناك بالطبع حد أعلى للتحول يحتم ضرورة أن يحدث التحول والصخور في الحالة الصلبة. أما إذا ارتفعت درجات الحرارة إلي مستويات أعلى فإنه يحدث انصهار جزئي للصخور وتكون صخور نارية. ويكون الحد الأعلى للتحول في القشرة عند درجة حرارة نحو ٩٠٠م. ويمثل هذا الحد بداية الانصهار الجزئي الرطب للصخور حيث تحتوي معظم الصخور على كمية قليلة من الماء . وتتحكم نوعية الصخور المنصهرة وكمية الماء في درجة الحرارة التي يبدأ عندها الانصهار الجزئي وكذلك في كمية الصهارة التي يمكن أن تتكون من الصخر المتحول. ولذلك تبقي بعض أنواع الصخور في الحالة الصلبة عند ٩٠٠ او حتى أكثر وعندما توجد كمية صغيرة من الماء فإنه يحدث انصهار لكمية صغيرة من الصخور، ويبقى الصهير محبوسا مثل جيوب صغيرة في الصخر المتحول.

وعندما تتكون كميات كبيرة من الصهارة نتيجة الانصهار الجزئي فإنها تصعد إلي أعلى وتتداخل في الصخور المتحولة التي تعلوها وتتصلب لتكون صخرا ناريا متداخلا. ولذلك فإن الباثوليثات المكونة من صخر الجرانيت تتواجد بجوار أجسام ضخمة من الصخور المتحولة والتي ترتبط معا. وتوجد هذه التجمعات من الصخور النارية والمتحولة على امتداد نطاقات الاندساس أو عند حواف الألواح التكتونية المتصادمة.

وهكذا يستخدم مصطلح التحول (مشتق منmeta بمعنى تغير و morphe بمعنى شكل) لوصف كل التغيرات التي تحدث في التركيب المعدني ونسيج الصخر وهما في الحالة الصلبة في القشرة الأرضية بسبب التغير في درجة الحرارة والضغط واللذان يكونان أعلى من تلك الموجودة عند السطح ولكنهما أقل من درجة الحرارة التي تنصهر عندها تلك الصخور.

وتضم المعادن السيليكاتية والتي تميز التحول – أي يدل وجودها على أن الصخر قد تعرض للتحول – ثلاثة معادن متعددة الشكل لسيليكات اللومنيوم هى: الكيانيت والندالوسيت والسيليمانيت بالإضافة إلي معادن البيروفيليت والاشتوروليت والإبيدوت. وهناك بعض المعادن الأخرى التي تشيع في الصخور المتحولة وتكون موجودة أيضا في بعض الصخور النارية مثل الجارنت والكوارتز والمسكوفيت والأمفيبول والفلسبار. ويشير التحول منخفض الرتبة إلي عمليات تحول تحدث عند درجات حرارة تتراوح بين نحو ٢٠٠م و٣٢٠م وعند ضغوط منخفضه نسبيا. بينما يشير التحول عالي الرتبة إلي عمليات تحول عند درجة حرارة أعلى من نحو ٥٥٠م وضغط عالي.

وقد تتعرض بعض الصخور المتحولة أثناء تكونها لدرجات حرارة عالية وضغط مرتفع فيحدث تحول عالى الرتبة ثم تعرض تلك الصخور المتحولة فيما بعد لضغوط وحرارة أقل فتتحول مرة أخرى تحت الظروف الجديدة من صخور متحولة عالية الرتبة إلي صخور متحولة منخفضة الرتبة في عملية تعرف بالتحول التراجعي . ويحدث معظم التحول في القشرة الأرضية وحتى الحد الفاصل بين القشرة والوشاح. بالإضافة إلي ذلك فإن التحول يمكن أن يحدث عند سطح الأرض. حيث تحدث تغيرات التحول في سطح التربة والرواسب المخبوزة المتواجدة مباشرة أسفل فيوض اللابة البركانية بتأثير الحرارة الناشئة عن ملامسة اللابة.

العوامل الطبيعية والكيميائية التي تتحكم في عملية التحول:

تؤدي تغيرات التحول إلي أن يدخل صخر ما في اتزان مع ظروف جديدة مغايرة للظروف التي تنشأ فيها. فالصخر الرسوبي الذي تكون من عمليات ما بعد الترسيب يكون في اتزان مع المتوسط العام للضغط ودرجة الحرارة الناشئتين عن دفن الرواسب على عمق كيلومترات قليلة. وقد يتكون هذا الصخر أثناء عملية التجبل (بناء الجبال) والتي يتم فيها دفن الصخر الرسوبي على عمق أكبر ويتعرض إلي درجة حرارة تزيد عن ٥٠٠، وبعد مرور وقت كاف –عادة مليون سنة أو أكثر- يتغير التركيب المعدني ونسيج الصخر بحيث يدخل الصخر في اتزان مع درجات الحرارة والضغوط الجديدة. وكلما زاد العمق زادت بالتالي درجات الحرارة في القشرة، كانت تغيرات التحول أسرع.

أ - درجة الحرارة:

للحرارة تأثير كبير على التركيب المعدني ونسيج الصخر حيث تعمل الحرارة على كسر الروابط الكيميائية كما تغير البنية البلورية الموجودة في الصخور النارية. وعندما يتكيف الصخر مع درجة الحرارة الجديدة فإن الذرات والأيونات يعاد تبلورها حيث ترتبط في ترتيبات جديدة لتكون تجمعات معدنية جديدة. وتنمو العديد من البلورات الجديدة إلي حجم أكبر من ذلك الذي كان في الصخر الأصلي. وقد يصبح الصخر شريطيا نتيجة تجمع المكونات المختلفة في مستويات منفصلة. ومن المعروف أن المعادن المختلفة تتبلور وتبقى مستقرة عند درجات الحرارة المختلفة.

ويرجع التغير في درجات حرارة الصخور إلي أسباب عديدة- نذكر منها:

١ – التدخل الصهاري بالقرب من المنطقة التي يحدث بها التحول حيث تفقد الصهارة حرارتها أثناء التبلور وتنتقل الحرارة إلي الصخور المحيطة.

٢ - تدرج حرارة الأرض وهو معدل زيادة درجة حرارة الأرض مع العمق والذي يختلف من منطقة للأخرى.

٣ - الاضمحلال الإشعاعي للعناصر المشعة الموجودة في بعض معادن الصخور النارية، أو بعض العناصر المشعة التي استخلصتها الرواسب من ماء البحر.

٤ - الحرارة المنبعثة من الأعماق خلال الوشاح عن طريق خلال الحمل الدوراني والتي تشمل: التيار الصاعد للمواد الباردة.

٥ - الاحتكاك الذي يحدث أثناء تشوه الصخور، خاصة على امتداد الصدوع ويكون المصدر الحراري في هذه الحالة قليلا.

ب –الضغط:

يعمل الضغط على تغيير نسيج الصخر وتركيبه المعدني. ويتعرض الصخر الصلب إلي نوعين أساسيين من الضغط والذي يسمي إجهادا:

• **ضغط حابس:** ويسمى أيضا بضغط الحمل وهو ضغط عام في كل الاتجاهات مثل الضغط الذي يؤثر به الغلاف الجوي على سطح الأرض أو الضغط الذي يؤثر على الغواصين في المياه العميقة. ويغير المستويات العالية من الضغط الحابس التركيب المعدني عن طريق ضغط الذرات مع بعضها بعضا لتكون معادن جديدة لها بنية بلورية أكثر كثافة.

• **ضغط موجه:** يؤثر في اتجاه معين فقط مثلما نضغط على كرة من الصلصال بين إبهام اليد والسبابة. وتؤدي حركات الألواح المتقاربة إلي نشأة الضغط الموجة الذي يؤدي إلي تشوه الصخور. وحيث إن الحرارة تقلل من قوة الصخور فإن الضغط الموجه يسبب طيا شديدا وتشوها للصخور المتحولة في أحزمة بناء الجبال حيث تكون درجات الحرارة مرتفعة ويعرف الضغط الموجة أيضا بالإجهاد المتباين أو الإجهاد التضاغطي.

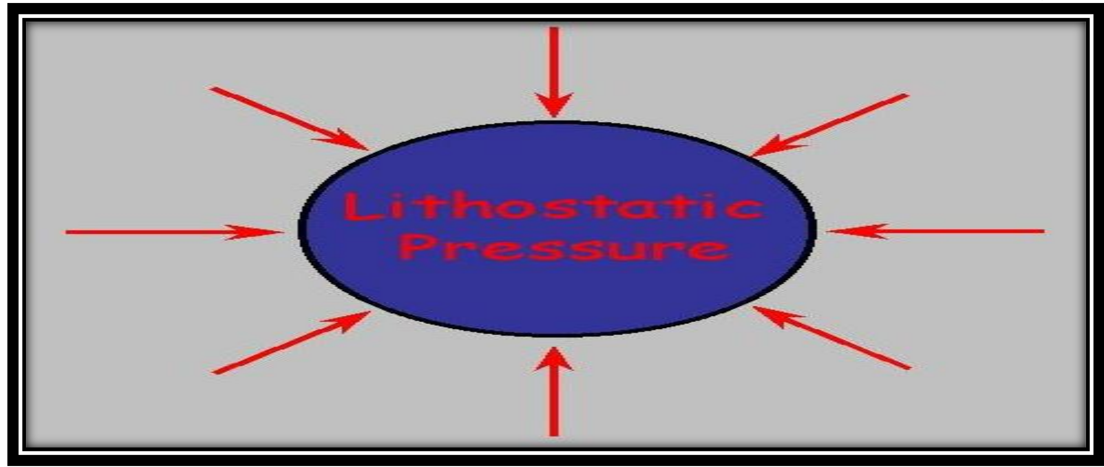
واعتمادا على نوع الإجهاد الموجه للصخور يتم ضغط المعادن المتحولة أو استطالتها أو دورانها لتترتب في اتجاه معين. وهكذا يؤدي الضغط الموجه إلي إعادة ترتيب البلورات المتحولة الجديدة المتكونة أثناء إعادة تبلور المعادن في مستويات معينة تحت تأثير الحرارة والضغط. وأثناء إعادة تبلور الميكا مثلا تنمو البلورات وتتراص مستويات الصفائح في البنية السيليكاتية عموديا على الضغط الموجه. وتترتب المعادن المستطيلة مثل الأمفيبولات خطيا في مستويات عمودية على الإجهاد الموجه. ويمكن أن نستخدم المعلومات المستمدة من التجارب المعملية عن تغيرات التركيب المعدني والنسيج في التعريف على الضغوط التي كانت تسود في منطقة ما أثناء التحول. وهكذا يمكن استخدام التجمع المعدني في تقدير الضغط أو كباروميتر أرضي.

يحلل الضغط عادة الى نوعيين:

(أ) الضغط المنتظم غير الموجه (ضغط اللاتجاهى)

Uniform hydrostatic, Load Pressure

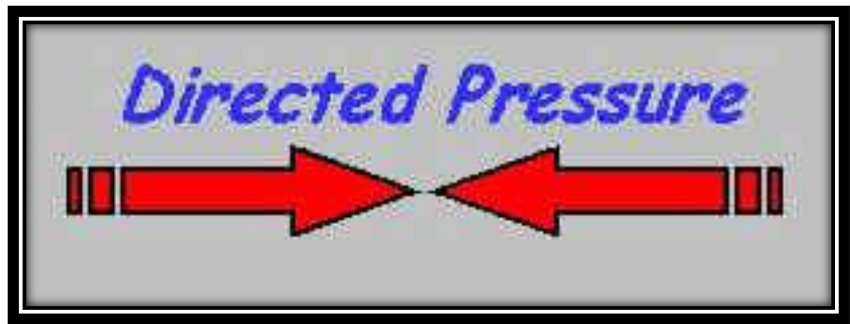
وهو الضغط الناشئ من ثقل الغطاء الصخري ويؤثر في المواد السائلة والصلبة ويؤدي الي تغيير الحجم ويزداد بزيادة العمق.



(ii)الضغط الموجه غير المنتظم (ضغط الاتجاهي): -Non-uniform (Directed) Pressure

وهو الضغط الناشئ من حركة الصخور (شد وإنكماش) وانضغاطها مع بعضها البعض ويكون ملحوظاً بدرجة كبيرة في عمليات بناء الجبال Orogeny ويؤدي الي الاجهاد Stress في الصخور فتنفعل Strain فيؤدي الي تغيير في الشكل والحجم فيما يعرف بعملية التشوهDistortion . تنقسم الصخور من حيث استجابتها للضغط الي:

* صخور قابلة للتمددElastic ، * صخور مرنة Plastic ،* صخور هشة Brittle .



ج - التغيرات الكيميائية أثناء التحول:

قد يتغير التركيب الكيميائي لصخر ما أثناء التحول بدرجة ملحوظة نتيجة إضافة أو إزالة بعض مكوناته الكيميائية. ومن الشائع أن يؤدي التداخل الصهاري إلي تحولات كيميائية في الصخور المحيطة مثل الطفل أو الحجر الجيري حيث تصعد السوائل الحرمائية من الصهارة محملة بعناصر الصوديوم والبوتاسيوم والسيليكا والنحاس والزنك الذائبة بالإضافة إلي الضغط. وربما تستمد هذه العناصر من كل من الصهارة والصخور التي تم التداخل فيها. وأثناء تخلل المحاليل الحرمائية الصاعدة للقشرة الأرضية السطحية فإنها تتفاعل مع الصخور التي حدث بها التداخل، حيث تحدث تغيرات في التركيب الكيميائي والمعدني وأحيانا يحل تماما معدن محل معدن آخر دون تغير في نسيج الصخر.ويسمى هذا النوع من التغير في تركيب الصخر العام نتيجة نقل السوائل للعناصر الكيميائية داخل أو خارج الصخر بالتحول (من meta بمعنى تغير و soma بمعنى عصير). ويتكون عديد من الرواسب ذات القيمة الاقتصادية كالنحاس والزنك والرصاص وخدمات فلزية أخرى بهذا النوع من الإحلال الكيميائي.

دور السوائل في عملية التحول: يحدث عديد من التغيرات الكيميائية والمعدنية أثناء عملية التحول بسبب السوائل التي تتخلل الصخر الصلب. وعلى الرغم من أن الصخور المتحولة تكون في منكشفاتها جافة تماما وبها مسامية منخفضة للغاية إلا أن معظمها يحتوي على سوائل في مسامها (الفراغات بين الحبيبات) التي تكون متناهية الدقة. ويتكون هذا السائل أساسا من الماء المحتوي على ثاني أكسيد الكربون وكميات ضئيلة مذابة من غازات وأملاح وكميات شحيحة من المعادن المكونة للصخر. وتعمل تلك السوائل المتخللة بين الحبيبات على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية أثناء التحول. وحيث إن التغير في درجات الحرارة والضغط يحطم البنية البلورية فإن الذرات والأيونات تتحرك بين الصخر والسوائل الموجودة به. وكلما كانت حركة تلك الذرات والأيونات أسرع داخل الصخر كانت أقدر على التفاعل مع المواد الصلبة وتكونت معادن جديدة.

ويستمد ثاني أكسيد الكربون الموجود في سوائل الصخور المتحولة أساسا من الصخور الرسوبية (الأحجار الجيرية وأحجار الدولوميت) بينما يستمد الماء من الصلصال والمعادن المائية الأخرى وليس من الماء الموجود في مسام الصخور الرسوبية حيث يتم التخلص من نسبة كبيرة منه خلال عمليات ما بعد الترسيب.

وتتحرك السوائل أثناء عملية التحول على امتداد حدود الحبيبات أولا ثم تتحرك خلال القنوات المفتوحة حيث يتكسر الصخر نتيجة ضغط السائل. وتقابل السوائل أثناء صعودها إلي أعلى في القشرة الأرضية صخورا أكثر برودة مما يؤدي إلي ترسب الكوارتز في الكسور والشقوق والفجوات وتكون عروق الكوارتز التي تشيع في الصخور المتحولة منخفضة الرتبة.

ومع تقدم عملية التحول تتكسر الروابط الكيميائية بين المعادن وجزيئات الماء حيث يؤدي التحول إلي انتزاع الماء أو يتفاعل الماء مع الصخر. فالمعادن التي تحتوي على الماء وتكون موجودة في الصخور الرسوبية تحتوي أصلاعلى الكثير من الماء المرتبط بروابط كيميائية بالإضافة إلي أن الصخر يحتوي على ماء إضافي في المسام. ويفقد هذان النوعان من الماء أثناء عملية التحول ويصعد الماء إلي مناطق القشرة الأرضية الضحلة. وكلما ارتفعت رتبة التحول انخفض محتوي الصخر من الماء. وعلى العكس مما سبق تأخذ معادن الصخور البركانية المافية والتي لاتحتوي على ماء في بنيتها البلورية بعض جزيئات الماء من السوائل الموجودة في المسام خلال المراحل الأولي من التحول. وفي هذا التفاعل فإن هذه المعادن اللامائية، أي الخالية من الماء تكون معادن متبلورة جديدة من الميكا والكلوريت ومعادن أخري مائية – أي تتكون فيها روابط كيميائية بين الماء والكونات الكيميائية الأخرى.

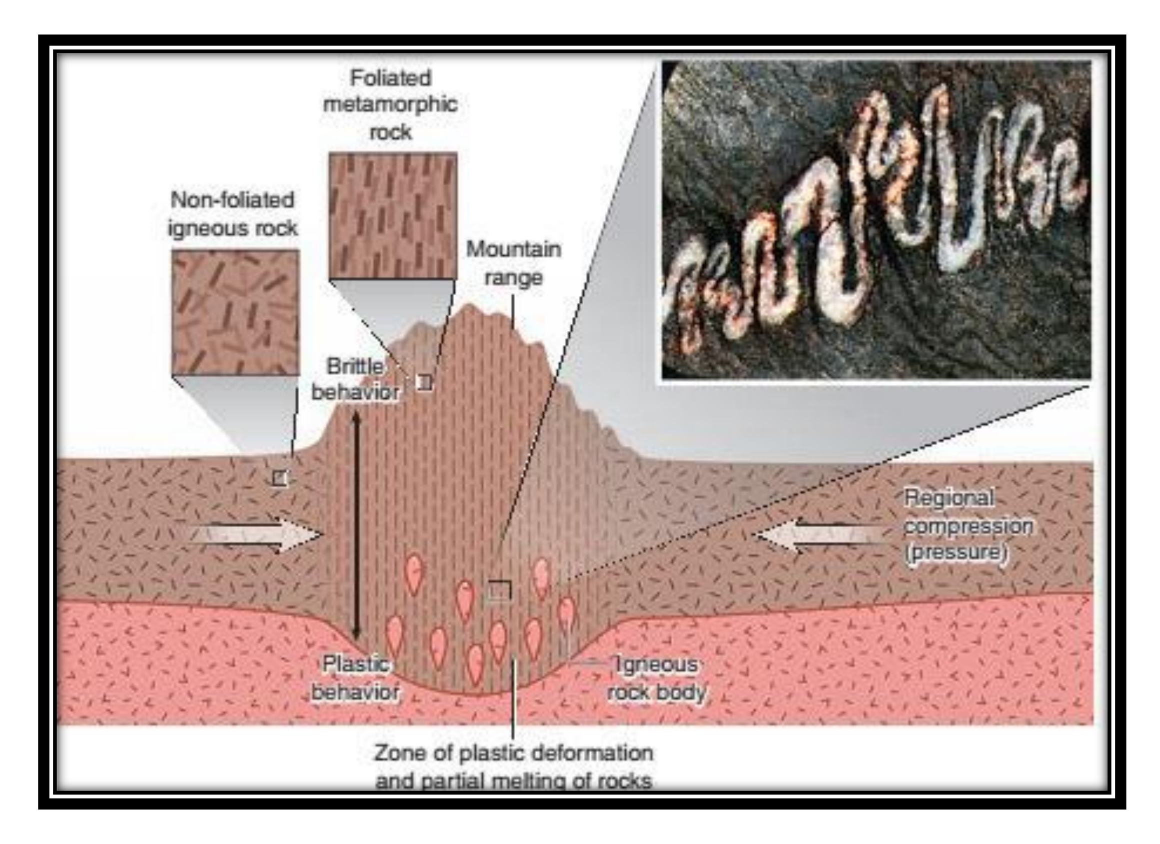
أنواع التحول:

تحدث عملية التحول حينما يتعرض صخر لظروف مغايرة لتلك التي نشأ فيها حيث يصبح الصخر غير مستقر ويتغير تدريجيا حتى يصل إلي مرحلة اتزان مع ظروف البيئة الجديدة. ويحدث التغير في درجات الحرارة والضغط السائدين في المنطقة الممتدة من عدة كيلومترات تحت سطح الأرض حتى الحد الفاصل بين القشرة والوشاح. وقد أمكن مؤخرا واعتمادا على التكنولوجيا الحديثة إجراء تجارب معملية لمحاكاة ظروف التحول والمزج بين عاملين أو أكثر من عوامل الضغط والحرارة والتركيب الكيميائي والتي قد يحدث عندها التحول. ولقد أدت الملاحظات الحقلية إلي تصنيف الصخور التحولة إلي عدة مجموعات على أساس الظروف الجيولوجية لأصل الصخر.

١ ـ التحول الإقليمي:

يعتبر التحول الإقليمي أكثر أنواع التحول انتشاراً حيث تؤثر كل من درجة الحرارة المرتفعة والضغط العالي على أحزمة أو مساحات شاسعة من القشرة الأرضية تصل إلي عشرات الآلاف من الكيلومترات المربعة. وتتغير درجات الحرارة أثناء التحول الإقليمي بدرجة كبيرة. فهي تتراوح بين ٣٠٠ و٨٠٠م (الحد الأقصى للتحول نحو ٩٠٠م) في حين يتراوح الضغط بين ٢ و٦ كيلوبار أو أكثر. ويستخدم هذا المصطلح لتمييز هذا النوع من التحول عن التغيرات المحلية الأخرى، والتي تحدث بالقرب من المتداخلات النارية أو الصدوع. ويحطم التحول الإقليمي بعض

أو كل الأنسجة الأصلية للصخور النارية أو الرسوبية، حيث يؤدي إلي تكون معادن وأنسجة جديدة.



التحول الاقليمي

<u>وهناك ثلاثة مواضع تكتونية يتم فيها التحول الإقليمي:</u>

١- - **<u>الأقواس البركانية</u>**: حيث تنشأ بعض أحزمة التحول الإقليمي نتيجة اندساس الألواح المحيطية بعمق في الوشاح والتسخين بالصهارة الصاعدة.

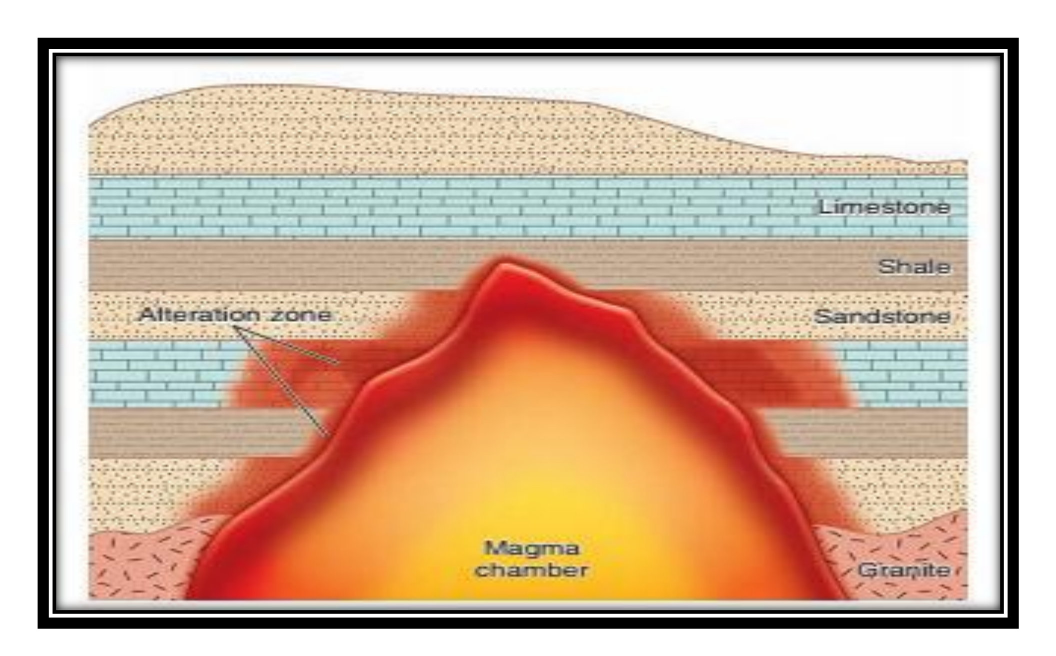
٢- **<u>الخنادق المحيطية</u>**: حيث تتكون الأحزمة الأخرى نتيجة الضغط العالي والحرارة المنخفضة نسبيا بالقرب منها، ويسبب الاندساس سحب القشرة المحيطية الباردة نسبيا إلي أسفل.

٣- **<u>حدود الألواح القارية المتقاربة</u>** (المتصادمة): حيث يحدث التحول الإقليمي تحت ضغوط ودرجات حرارة عالية جدا في المستويات الأعمق من القشرة، ويتشوه الصخر وتتكون أحزمة جبال مرتفعة.

<u>٢ - التحول التماسى (الحرارى):</u>

تتسبب المتدخلات النارية في تعرض الصخور المحيطة بها مباشرة إلي ظروف جديدة من الحرارة والضغط مما يؤدي إلي تحول الصخر الأصلي. ويعرف هذا النوع من التحول المحلى بالتحول التماسي كما يسمى أحيانا بالتحول الحراري. ويؤثر هذا النوع من التحول عادة على

منطقة رقيقة فقط من الصخور المحيطة على امتداد أسطح التلامس مع المتداخلات النارية. ويرجع التحول المعدني في العديد من الصخور المتحولة بالتماس وخاصة عند المتداخلات القريبة من السطح إلي درجة حرارة الصهارة المرتفعة ويكون تأثير الضغط مهما عندما تتداخل الصهارة على أعماق كبيرة. ويكون التحول التماسي الناشيء عن الصخور البركانية محدودا حيث تتكون في هذه الحالات نطاقات رقيقة جدا بسبب تبرد اللابة بسرعة عند السطح ولا يوجد ما يكفي من الوقت لتؤثر حرارة اللابة على الأجزاء العميقة من الصخور المحيطة.

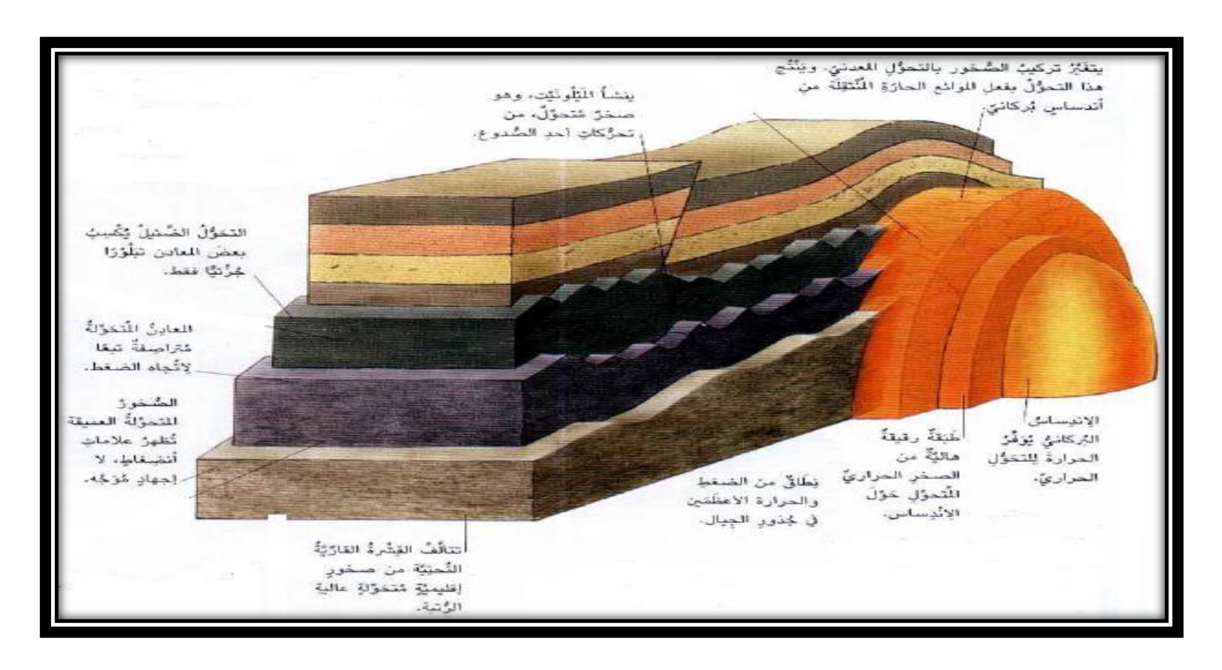


التحول التماسي.

ويسمى نطاق الصخر في المنطقة المحيطة بالمتداخل الناري. والذي تظهر به آثار التحول باسم هالة التحول ويعتمد سمك هالة التحول على حجم الجسم المتداخل ودرجة حرارته وعلى كمية الماء في الصخور المتحولة. ففي المتداخلات الصغيرة مثل: الجدد الموازية أو القواطع والتي يبلغ سمكها عدة أمتار قليلة وفي غياب السوائل فإن نطاق التحول يكون فقط عدة سنتيمترات سمكا. ويكون الصخر المتحول صلبا ودقيق التحبب ومكونا من كتلة من الحبيبات المتداخلة المتساوية الحجم. ويحتوي المتداخل الناري الكبير الحجم على طاقة حرارية أكبر من تلك الموجودة في المتدخلات الصغيرة كما يخرج منه الكثير من بخار الماء. وعندما يبلغ قطر المتداخل الناري كيلومترا أو أكثر فقد يصل عرض هالة التحول عدة مئات من الأمتار أو أكثر وتميل الصخور المتحولة لأن تكون خشنة التحبب .

وفي داخل نطاقات التحول الكبيرة والتي تخللتها السوائل الحارة فإنه يمكن تعرف نطاقات عديدة متحدة المركز تقريبا مكونة من تجمعات معدنية يتميز كل نطاق منها بمدى معين من درجة الحرارة . حيث تكون درجات الحرارة عالية بجوار الجسم الناري مباشرة وتتكون معادن لامائية مثل: الجارنت والبيروكسين بينما توجد المعادن المائية مثل: الابيدوت والأمفيبول، ثم معادن: الميكا والكلوريت في النطاقات الخارجية البعيدة عن الجسم الناري.

وتعتمد مجموعة المعادن الموجودة في كل نطاق على التركيب المعدني للصخر الذي يتداخل فيه الجسم الناري وعلى السائل المنبثق من الجسم الناري علاوة على درجة الحرارة والضغط. ويتواجد التحول التماسي على امتداد الألواح المتقاربة والنقاط الساخنة المحيطة والقارية حيث يتواجد النشاط الناري الذي يرتبط به التحول. وحيث إن النشاط الناري يتواجد أيضا في التحول الإقليمي لذلك يوجد التحول التماسي أيضا في أحزمة الجبال المشوهة.



١ - التحول الحراري (التماسى): Thermal (contact) metamorphism

يعتبر هذا النوع من التحولات ضيقة النطاق ويتم محلياً في مناطق تداخل الكتل الصهيرية في صخور مضيفة سابقة التكوين وتكون الحرارة المتولدة من الصهير العامل المسيطر في هذا النوع مع عدم إغفال دور الغازات والسوائل في اتمام التحول.

يسمي النطاق المتأثر بالتحول والذي يمتد من عدة أقدام الي عدة كيلومترات بإسم دائرة التحول Contact aureole، ويكون التأثير الحراري علي أشده في مناطق التماس المجاورة للكتلة الصهيرية المتداخلة ويقل تدريجياً بعيداً من منطقة التماس.



هنالك مجموعة من العوامل التي تعمل علي تحديد التأثير الحراري علي الصخور وبالتالي تتحكم في درجة تحول الصخور ومدى إنتشارها وهي:

(i) حجم الصهيرالمتداخل: تتسع دائرة التحول كلما كانت الكتل المتداخلة كبيرة الحجم كما هو الحال في دوائر التحول حول الكتل البلوتونية والباثوليتية.
(ii) درجة حرارة الصهير: تكون درجة التحول عالية إذا كانت حرارة الصهير مرتفعة جداً وإذا كانت الظروف المحيطة تعمل علي تبريد الصهير ببطئ.
(iii) التركيب الكيميائي للصهير: كلما زادت حموضة الصهير زاد التأثير علي تحول الصخور وذلك لأن الصهير الحمضي يكون محملاً بكميات كبيرة من الغازات والسوائل النشطة كيميائياً.
(iv) التركيب المعدني للصخور: تؤثر نوعية الصخر علي درجة التحول ونوعه ونوع النواتج صخرية، مثال: حجر رملي Sandstone يتحول الي كوارتزيت Quartzite، صخور طينيةMudstone تتحول الي هورنيفلسHornefels، صخور جيرية Limestone تتحول الي رخام Marble. تنتج من التحول الحراري (التماسي) مجموعة صخور كتلية massive rocks ذات معادن غير موجهة مثل الرخام Marble، الهورنيفلسHornefels و الكوارتزيت Quartzite .

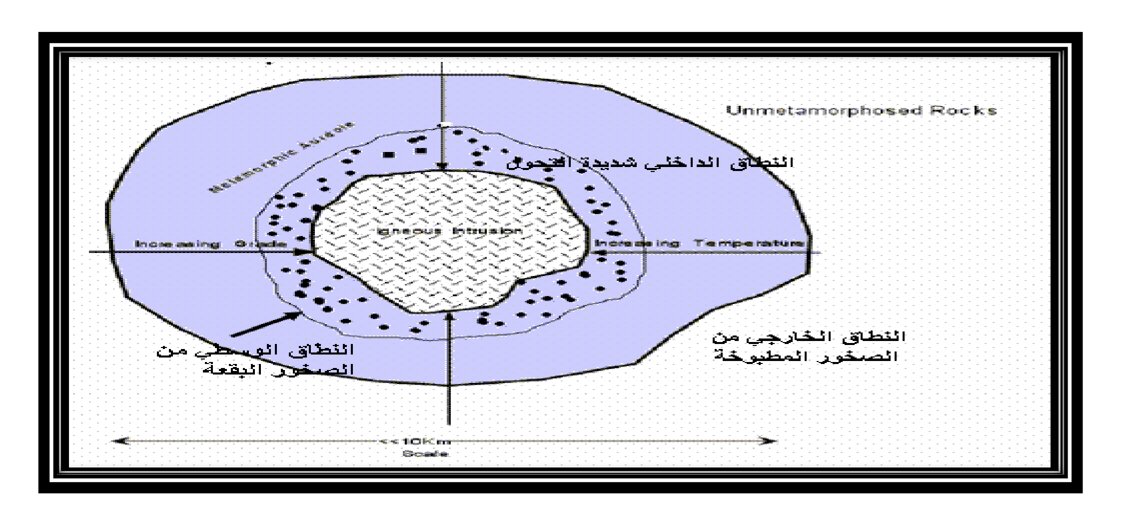
تعد الحرارة العامل الرئيس في هذا النوع من التحول ويكون للضغط تأثير ثانوي وهو على عدة أشكال أهمها الحراري (Thermal Meta.) ويطلق هذا الاصطلاح على جميع التغييرات التي تكون فيها الحرارة العامل الرئيس، أما اصطلاح(PyroMeta.) يشير إلى التحولات التي تحدث في درجات الحرارة العالية والذي يحصل على حدود التماس المباشر ما بين الصخور المجاورة أو المحيطة بالصهارة (الماجما)، وكذلك يحدث في الصخور المطمورة في الصهارة.

التحول الكاوي :(Caustic Meta.) يطلق على التحولات التي تحدث في الصخور بصورة سريعة عند تماسها بالصهارة أو الأجسام النارية الجوفية الحارة وتؤدي إلى احتراق (Burning) الصخور أحيانا أو تحولها إلى زجاج بركاني. واصطلاح التحول التماسي (Contact Meta.) يصف تحولا يحدث حول الكتل النارية الكبيرة وفي درجات حرارة واطئة نسبيا بالمقارنة مع سابقه بحيث يحدث تغير ملحوظ بالصخرة إذ أن الانبثاقات الصخرية تزيد من الانتقالية الجزيئية للمحاليل البينية وبذلك تزيد من عملية تحول المعادن الصخرية.أما اصطلاح (Pneumatolitic Meta) أو(Additive Meta.) فهو تحول يسبب تحول كلي في تركيب الصخرة.

تلعب الاقحامات النارية (igneous rocks) دورا مهما في حدوث التحول التماسي للصخور وذلك من خلال تزويد الصخور المجاورة للمقحم الناري بالحرارة والمحاليل الساخنة. وتقل التأثيرات التحولية حول المقحمات النارية بصورة سريعة بعيدا عن الجسم الناري وذلك لقلة انتشار الحرارة ولقد وجد أن الإقحام الجرانيتي يكوّن هالات تماسية (Contact aureoles) واضحة ومميزة في الحقل وأكثر عرضا من تلك المتكونة حول الاقحامات القاعدية والصخور الجابروية مع العلم أن الصخور القاعدية والجابروية تمتلك حرارة أعظم من الصخور الجرانيتية، واحد أهم العوامل المؤدية إلى هذا التباين في عرض الهالات التماسية هو أن الصهير الجرانيتي

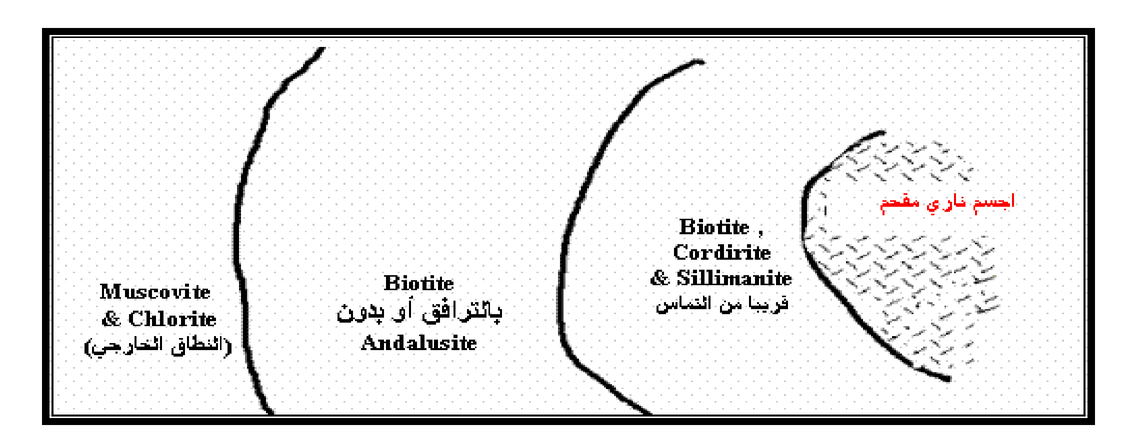
المقحم خلال الصخور المجاورة country rocks يكون حاملا للسوائل والمحاليل أكثر مقارنة بالصهير القاعدي حيث يقوم الماء والمحاليل النشطة الحارة بنقل الحرارة والايونات وبذلك تساعد في عملية التبلور.

الترتيب المتسلسل في الصخور المجاورة غير المتحولة إلى الصخور الهورنفلسية الأكثر تحولا يسمى بالتحول ألتقادمي (Progressive metamorphic sequence).



الهالة التماسية لأحد الأجسام النارية:

ويمكن ملاحظة تسلسلات معدنية ونسيجية مهمة في هذا التسلسل ويحصل هذا النوع بصورة واضحة عادة في الصخور الطينية (Pelitic Rx.) ويكون التغير المعدني من الخارج إلى الداخل كما في الشكل أدناه:



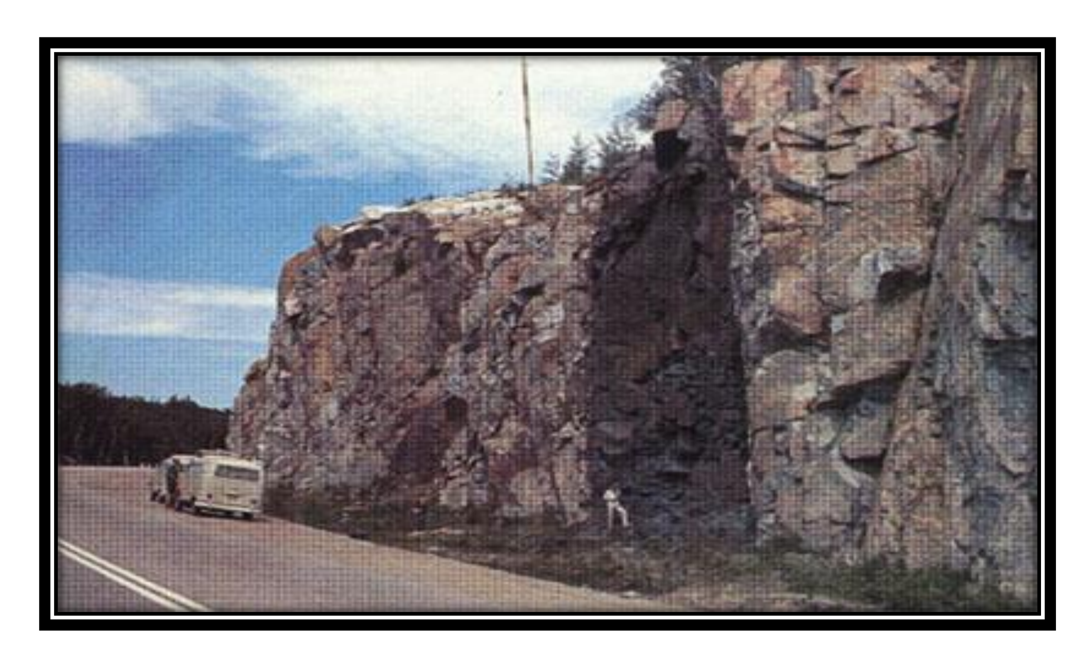
سلسلة التحول ألتقادمي للصخور المجاورة لجسم ناري:

تظهر الهالات في الصخور الكلسية تغيرا على نطاق واسع لكن اقل انتظاما لان المحتوى المائي في هذه الصخور ينقل إليها بعض المواد من الصهارة والتي تؤثر على درجة انتظام الهالة

والتمنطق يكون غير واضح وعلى نطاق محدود درجات التحول للصخور المحيطة بالجسم الناري والذي هو في طور التبريد تعتمد على شكل الجسم الناري وحجم ذلك الجسم وكذلك على خواص الصخور المحيطة أو المخترقة من قبل هذا الجسم ومحتواها من السائل وكذلك نفاذيتها فإذا كان المحتوى لهذه الصخور قليلا ونفاذيتها ليست جيدة ومستويات التطبق فيها ليست ذات أهمية فسريان الحرارة فيها (heat flow) سيكون من النوع الايصالي (conductive) أما إذا كان محتوى الماء في هذه الصخور عال عند ذلك تسمح بنقل الحرارة ونقل الحرارة في مثل هذه الحالة يصبح من نوع (convective) بطريقة الحمل أي أن الانتقال ليس للحرارة فقط وإنما للمواد المذابة في السوائل المتحركة circulation fluids، ولوحظ من بعض المخططات الخاصة انه في النماذج للحرارة الموصلة المنتشرة حول جسم ناري مستقر أو ساكن أن درجة الحرارة القصوى في الصخور المحيطة بجسم ناري تكون تقريبا نصف درجة حرارة الصهير (حرارة الجسم الناري المخترقة) ولكنها تعتمد أيضا على درجة حرارة الصخور قبل الإقحام.

إذا كان الجسم الناري المقحم كبيرا نوعا ما فأن ارتفاع درجات الحرارة في الصخور المجاورة سوف يستمر لفترة طويلة كافية لحدوث التفاعلات الكيمائية. أما الصخور المجاورة لجسم صغير كالسدور القاطعة dikes أو الجدد sills فقد لا تتعرض لهذه الظروف ولكنها قد تسخن وتطبخ baked وتصبح صلبة مع احتمالية تبلور المواد البينية الرابطة Cementing materials إذا كانت الصخور الصلبة.

أن كثيرا من الاقحامات النارية تقوم بتزويد الصخور المجاورة بمحاليل ساخنة عند تبلورها وانخفاض درجات حرارتها حيث تستطيع هذه السوائل أن تلعب دورا مهما في تكون معادن جديدة أو مناطق تمعدن mineralization zones قد تحتوي على معادن اقتصادية.



جسم ناري عمودي Dike منكشف محاط بصخور متحولة حراريا

2- التحول التهشمي:

يتحول الصخر المطحون إلي كتلة كالعجين حيث قد يحدث التحول على امتداد الصدوع، وتسبب الحركات التكتونية تكسر القشرة الأرضية وانزلاقها ممايؤدي إلي تكسر الصخر الصلب وطحنه على امتداد سطح الصدع ويتكون نسيج مكسر ومطحون . وقد يتحول الصخر المطحون إلي كتلة كالعجين وهذا هو التحول التهشمي. ويسمى التحول التهشمي أحيانا باسم التحول الديناميكي (التحول الحركي). فعندما يتعرض صخر خشن التحبب مثل الجرانيت إلي إجهادات متباينة شديدة فإن حبيبات المعادن تتكسر وتطحن. ومع زيادة التحول التهشمي، فإن حبيبات المعادن تصبح مستطيلة.ويبدي الصخر نسيجا متورقا ويعرف باسم الميلونيت. ويحدث هذا التحول أساسا تحت ضغط مرتفع نتيجة طحن وجز الصخر أثناء الحركات التكتونية. لذلك تتواجد الصخور التهشمية غالبا مع الصخور المتحولة إقليميا في أحزمة الجبال المشوهة بشدة، حيث يكون التصدع ممتدا وشاملا.

.التحول السائد بالضغط الموجه(التحول التحطيمي).Directed Pressure Meta :
(Cataclastic Meta.)

وهو تحول ينتج عنه تشويه تحطيمي للصخر بفعل الضغط الهيدروستاتيكي الساكن (Hydrostatic Pressure) أو الإجهاد (stresses) فمن المعروف أن الإجهاد يعمل عادة باتجاه معين وبوجود قليل من الحرارة أو بدونها فان تأثيرها في مثل هذه الحالة هو سحق الحبيبات الصخرية وتهشيمها وذلك من خلال التحرك القوي من خلال التحرك القوي لكتل الصخور وتتكون قليل من المعادن التي قد تترتب بأشكال متوازية أو بهيئة بنيات شريطية متوازية (Parallel bands structures)على امتداد مستويات الحركة الداخلية.

. التحول السائد بالضغط الموجه والحرارة: .Directed Press. & Heat Pred. Meta

غالبا ما يتحد العاملان في عمليات تحول الصخور فهما العاملان الأهم في عمليات تحول الصخور وإنتاج بنيات بلورية جديدة لتلك الصخور بنفس الوقت ومن أشكاله:

١) ***التحول الديناميكي الضغطي: .Dynamothermal Meta :***
عندما يكون الضغط الموجه هو العامل الرئيس المؤثر وهذا الضغط يعمل على خفض درجة انصهار المعادن موقعيا ، والذي ينتج بسبب حركات الرفع الأرضية المسؤولة عن تكوين الجبال ويحصل في مناطق الطيات الأرضية ويمتد لمسافات كبيرة مساحيا ومن أهم الأنواع الصخرية التي تنتج عن هذا النوع من التحول صخور الشيست (Schist) والنايس (Gniess) .

(٢) ***تحول الحمل أو الانطمار: .Loud or Burial Meta :***
يحدث بسبب الضغط الناتج عن عمود الصخور مع وجود درجات الحرارة العالية المتزايدة مع الأعماق فضلا عن تأثير المحاليل الكيميائية.

(٣) ***التحول الاستاتيكي:*** ***Static Meta.***:
وهو تحول واطئ يحدث عند درجات الحرارة الواطئة وبوجود الماء في الأعماق القليلة ويتداخل أحيانا مع عمليات التصخر والتحجر وحتى عمليات التلاحم.

. **التحول السائد بالضغط المنتظم والحرارة: Undirected Press.& Heat Pred. Meta.**

يحصل بفعل كل من درجة الحرارة والضغط ويحدث في ظروف الأعماق حيث يقل دور الضغط الموجه، وفي هذا النوع من التحول تكتمل تحولات المعادن حيث لا تظهر بنيات جديدة بصورة كبيرة. والمعادن الجديدة المتكونة بسبب هذا النوع من التحول تكون ذراتها متراصة في حجوم اصغر وذات وزن نوعي اكبر مثل صخور (Eclogite) و(Scharnogite) *وهما ذاتا نسيج حبيبي متساوي مكونة ما يعرف بـ*(Granulite، كما يسمى هذا التحول أحيانا بالتحول الجوفي (Plutonic Meta.) .

٣- التحول الاقليمي(الضغطي-الحراري) :(Regional (dynamo-thermal metamorphism

من التحولات واسعة النطاق ويحدث فيه تغيير وتكييف الصخور سابقة التكوين في مناطق أقليمية شاسعة تمتد لآلاف الكيلومترات المربعة وبسمك تقدر بآلاف الامتار تحت تأثير الضغط العالي المصحوب بارتفاع كبيراً جداً في درجة الحرارة كما أن وجود المحاليل النشطة كيميائياً تساعد كثيراً في عملية التحول، يأتي هذا الضغط من حركات القشرة الأرضية ونتيجة الدفن لإعماق بعيدة في باطن الأرض.

تصاحب هذا النوع من التحولات إعادة تبلور المعادن الأصلية الموجودة سابقاً وتكوين معادن جديدة وذلك بتفتت وتكسر المكونات المعدنية للصخور وأحياناً قد تنصهر وتذوب ثم تستعيد كيانها من جديد متبلورة ومصفوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط.

كما ويصاحب هذا التحول تكوين بنيات وأنسجة تحولية جديدة وذلك بترتيب المعادن التحولية المتكونة حديثاً في نظام يناسب الظروف المستجدة ويتم هذا الترتيب بحيث يكون المحور الطولي لبلوراتها في إتجاه واحد عمودي علي اتجاه الضغط وينشأ عن هذا الترتيب تجمع معدني في هيئة طبقات رقيقة أو شرائط Bands ، وريقات Folia ورقائق أو صفائح Laminae متوازية ومتعامدة علي اتجاه الضغط.

٤- تحول الصدمة: Shock Meta.

وهو تحول طبيعي يحدث للصخور نتيجة سقوط النيازك على سطح الأرض مما يتسبب في حدوث تغييرات صخرية تتركز بالقرب من منطقة سقوط النيازك meteorites، وهذه التغييرات تتناسب مع كتلة النيزك وقوة ارتطامه بالأرض والذي يسبب اهتزازات قوية بالقرب من مركز السقوط ولكنها تتلاشى تقريبا كلما ابتعدنا عن مركز سقوط النيزك على شكل انطقة تحولية متدرجة .

٥ ـ التحول الديناميكي أو الحركي: Dynamic Metamorphism

١.التحول الديناميكي الطبيعي :

هذا النوع من التحول يحدث في مناطق محدودة المساحة والحجم إذ تكون هذه الصخور محصورة ضمن انطقة ضيقة قريبة من انطقة الفوالق ومستويات الانزلاق Major faults &thrust zones، وأظهرت الدراسات أن هذا النوع من التحول يحدث في نفس الوقت الذي تحدث فيه حركة على سطوح الفوالق والانزلاقات ويؤدي الجهد الشقي العالي high shear stressفي انطقة الفوالق إلى سحق الصخور على طول مستوياته.

يمكن ملاحظة أن هنالك اختلافات بين العمليات المؤدية إلى التحول الحركي من جهة والعمليات المؤدية إلى التحول التماسي، وفي بعض المناطق الضحلة وفي صخور هشة نسبيا نلاحظ انه يحدث تكسر وسحق كبير لهذه الصخور بمقياس يمكن ملاحظته بالعين المجردة بينما في مناطق أكثر عمقا من القشرة الأرضية تحدث الحركة في انطقة ضيقة على سطوح الفوالق والانزلاق فيحدث تبلور أحيانا أو يحدث انصهار جزئي في حالات أخرى (partial melting) وهذه العمليات بمجموعها تعطي ناتج من الصخور يسمى المتحولة حركيا أو ديناميكيا.

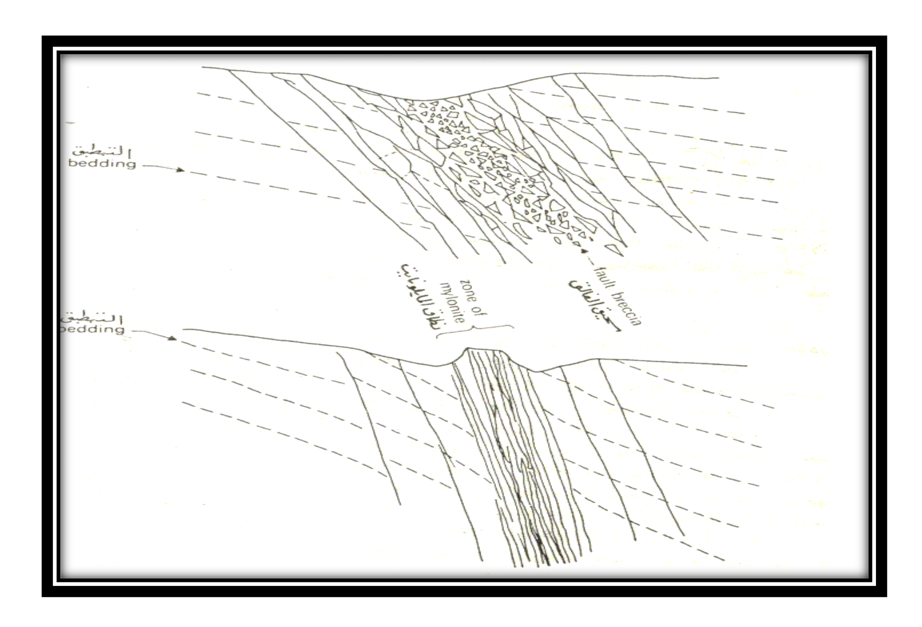
من الأدلة المهمة على حصول حركة ضمن فالق معين أو كسر أو انزلاق معين هو وجود ما يسمى بـ(fault breccia) وهي عبارة عن نواتج تكسر الصخور بسبب عمليات الانزلاق والتصدع وفيما بعد عملية السحب، وأحيانا لا يلاحظ وجود هذه المواد بل يتواجد بدلا عنها ما يشبه المسحوق الصخري الناعم (Micro breccia) ويختلط هذا المسحوق مع أرضية الصخورRock floor.

عندما تكون الحركة كبيرة وعلى مساحة واسعة وعمق لا بأس به بحيث أن جدران الفالق سوف تضغط على بعضها البعض الأخر فالتحول سيكون كبير جدا في هذه الحالة وسيشتمل كذلك على تحول الأجزاء المتكسرة والأرضية الموجودة على السطح حيث يحدث تغير موضعي في الصخور المجاورة، فمثلا الصخور الكتلية (الكوارتزايت) والحجر الجيري تحت ظروف معينة

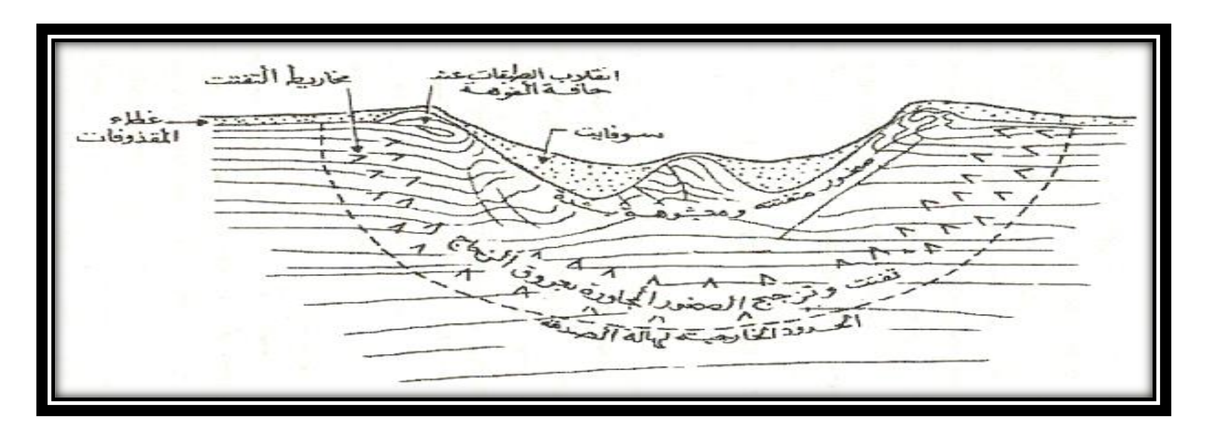
تعطي ناتجا معينا دقيق الحبيبات تسمى بالمايلونايت (Mylonite) الذي يتكون من حبيبات تشبه العدسات مع الصخور المحيطة بها وهو دليل على التحول المضطرب أو التشويهي.

أما إذا تكونت الأجزاء المتكسرة من الصخور المجاورة من نوع واحد من البلورات فان ذلك يعطي الصخور نسيجا يسمى (porphyritic or porphyroclast texture)، أما إذا كانت الصخور المجاورة عبارة عن shale أو صخور متحولة أصلا مثل slate or schist تحتوي على المعادن الورقية Mica minerals فان هذه المعادن ستترتب بشكل مواز لسطح الكسر فتكون ما يسمى Phylonite أو tectonic slate . ومعناها أن هذه الصخرة تأثرت بالحركة النسبية للفالق والمعادن تكون موجهة باتجاه مواز لمستوى الفالق، وفي هذه الحالة فان هذه الصخرة لا تمتلك البنية السابقة .porphyritic tex لأنها تكون متورقة باتجاه وليست حبيبية.صخور المايلونايت والفايلونايت تمتلك نسيجا تخطيطيا Lination واتجاه هذا التخطيط بالمجهر يعطينا فكرة عن اتجاه الحركة خلال فترة تكون كلا النوعين من الصخور.

تتحكم بالتحول الحركي عدة عوامل أهمها شدة واتجاه الحركة على سطح الفوالق والتي تؤدي إلى ما يسمى بالتشويه Distortion وكذلك عوامل الضغط والحرارة ومكونات الصخر الأصلي.



التحول الديناميكي في مناطق التفلق الصخري ومستويات الانزلاق



انطقة التحول الصخري الناتج عن التحول الديناميكي الطبيعي اثر سقوط نيزك على سطح الأرض

٢ . <u>التحول الديناميكي الاصطناعي:</u> **<u>Artificial Dyn.Meta.</u>** :

تحول يحدث نتيجة تدخل الإنسان بفعل التجارب التي يجريها وتحديدا التجارب النووية تحت السطحية حيث تعاني الصخور القريبة لمنطقة التجربة من التكسرات بفعل التموجات والاهتزازات الصادرة عن مركز الانفجار وقد تتحول بعض الصخور وخاصة في المناطق ذات التماس المباشر مع منطقة التجربة إلى مسحوق ناعم جدا. وهذا التحول يعتمد على قوة التفجير والبعد عن السطح ومكان التفجير فضلا عن نوعية الصخور التي تعاني من هذا النوع من التحول.

٦- التحول الحرمائي:

هناك نوع آخر من التحول يسمى التحول الحرمائي يكون مصاحبا لحيود وسط المحيط، ويعرف التحول في هذه الحالة بتحول قاع المحيط. حيث تتباعد الألواح وتنتشر وتكون الصهارات البازلتية الصاعدة قشرة محيطية جديدة. حيث ويعمل البازليت الساخن على تسخين ماء البحر المتخلل في كسوره. وتحفز الزيادة في درجة الحرارة التفاعلات الكيميائية بين ماء البحر وصخر البازلت. ليتكون نوع من البازلت يختلف في تركيبه الكيميائي عن تركيب البازلت الأصلي، نتيجة إضافة عنصر الصوديوم وخروج عنصر الكالسيوم أساسا، يعرف بالسبيليت. ويحدث التحول الحرمائي أيضاً في القارات، حيث تحول السوائل الحرمائية الصاعدة من المتداخلات النارية كلاً من الصخور التي تعلوها وكذلك الصخور المدفونة في الأعماق، والتي تحولها إقليميا. وقد يحدث التحول الحرمائي في مناطق القشرة الأرضية المختلفة، والتي تتواجد بها محاليل حرمائية.

٧- التحول بالدفن :

من المعروف أن الصخور الرسوبية تدفن تدريجيا نتيجة هبوط القشرة الأرضية (الأحواض الرسوبية) والتراكم السميك للرواسب، فترتفع درجة حرارتها ببطء وتصبح في حالة اتزان مع درجات حرارة القشرة المحيطة بها. ويحدث بسبب هذه العملية تغيرات ما بعد الترسيب والتي تشمل تغير التركيب المعدني والنسيج. وتتدرج عمليات ما بعد الترسيب إلي تحول بالدفن وهو تحول منخفض الرتبة يحدث بسبب الحرارة والضغط الناشيء من حمل الرواسب والصخور الرسوبية المتراكمة.

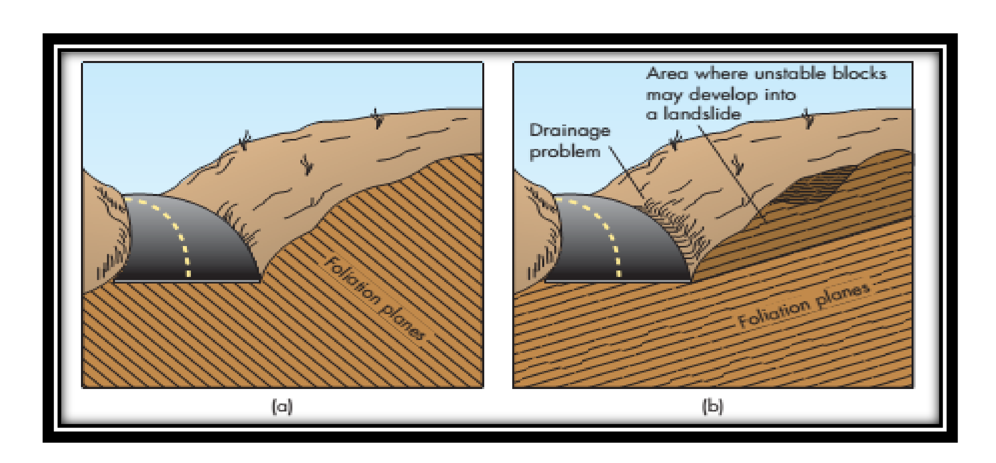
أنسجة التحول:

تتكون في الصخور المتحولة أنسجة جديدة نتيجة لتحولها. ويتحدد نوع هذا النسيج بناءً على حجم وشكل مكوناته من نوع البلورات، بالإضافة إلي طريقة ترتيبها. وتعتمد بعض أنسجة التحول على وجود أنواع معينة من المعادن مثل الميكا، والتي تتميز بوجود هيئة صفائحية. وقد ترث أنسجة التحول بعض أنسجة الصخر الأصلي، لذلك فقد ينعكس حجم حبيبات صخر رسوبي على حجم البلورات التي تتكون أثناء التحول. ويدل كل نوع من أنسجة التحول على نوع عملية التحول التي أدت إلي نشأته.

التورق والانفصام:

التورق هو أكثر أنسجة الصخور المتحولة تحولا إقليميا شيوعا. ويشتق هذا المصطلح من الكلمة اللاتينية folium بمعنى ورقة حيث يتكون من عدد من المستويات المتوازية المستوية أو المتموجة تكونت نتيجة التشوه. وعموما تقطع مستويات التورق الصخور حيث تميل على مستويات تطبق الصخر الرسوبي الأصلي بزاوية ميل كما قد توازي مستويات التطبق أيضا . ويرجع السبب الرئيسي للتورق إلي وجود معادن صفائحية (ميكا وكلوريت أساسا) تتبلور على هيئة بلورات صفائحية رقيقة ثم تتراص هذه البورات موازية لمستويات التورق. وتأخذ المستويات المتوازية توجيها مفضلا للمعادن حيث تأخذ مستويات المعادن الصفائحية أثناء تبلورها اتجاها مفضلا معينا يكون يتعموديا على الصخور وتؤدي إلي تشوهها وتحولها وقد

تكتسب المعادن الصفائحية الموجودة في الصخر الأصلي توجيها مفضلا وبذلك يتكون تورق نتيجة دوران البلورات حتى تصبح موازية للمستوى المتكون. وقد يؤدي التشوه اللدن أو ثني الصخر الساخن اللين إلي تكون بلورات لها توجيه مفضل. التورق واستقراية الطرق.



كما تميل المعادن التي تكون بلوراتها مستطيلة كالقلم مثل معادن الأمفيبولات لأن تأخذ بلوراتها توجيها مفضلا أثناء التحول حيث تترتب الصخور التي تحتوي البلورات عادة موازية لمستويات التورق. وتبدي الصخور التي تحتوي على العديد من بلورات الأمفيبول مثل البركانيات المافية المتحولة مثل هذا النوع من النسيج، والذي يعرف بالتخطيط، حيث تترتب المعادن المستطيلة مثل الهورنبلند في وضع مواز لخطوط داخل الصخر.

يحتوي الإردواز على الكثير من أشكال التورق. والإردواز صخر متحول ينفصل بسهولة على امتداد أسطح ناعمة مستوية إلي ألواح . ويتكون هذا الانفصام الإردوازي (يجب ألا يختلط هذا المصطلح مع انفصام المعدن مثل المسكوفيت) على أبعاد منتظمة ومتوسطة الرقة في الصخر. ولقد استخدمت هذه الصفة منذ القدم لعمل إردواز سميك أو رقيق لتغطية أسطح المباني في أوروبا وأمريكا وكذلك لعمل السبورات.



أ ـ الأنسجة المتورقة:

تصنف الصخور المتورقة تبعا لأربع ظواهر رئيسية هي:

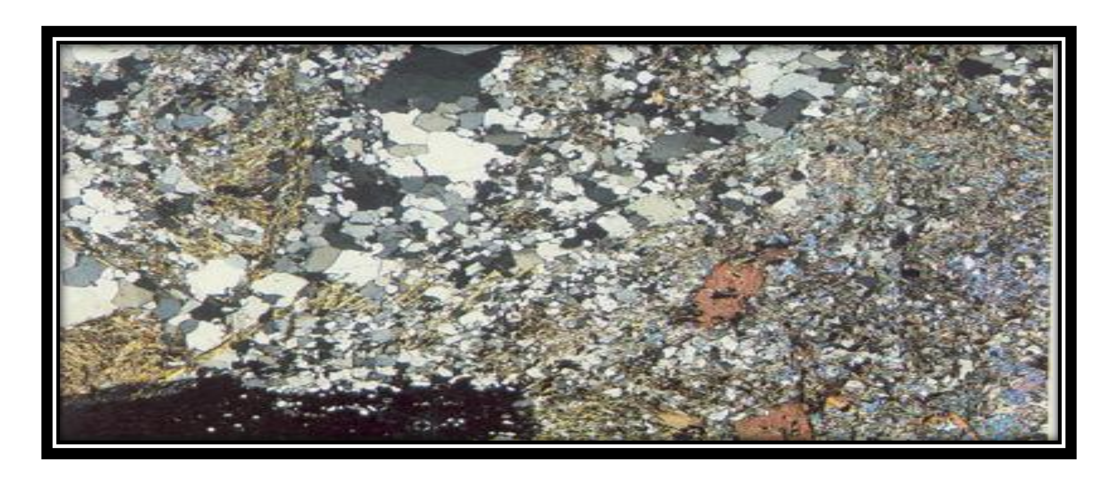
١ - طبيعة التورق.
٢ - حجم البلورات.
٣ - الدرجة التي تتجمع فيها المعادن إلي شرائط فاتحة وغامقة.
٤ - درجة التحول.

وسنتناول فيما يلى الأنواع الرئيسية للصخور المتورقة:

١ – الإردواز:

الإردواز هو أقل الصخور المتورقة رتبة في التحول. وتكون هذه الصخور التي تتميز بأسطح انفصال مستوية (انفصام إردوازي) دقيقة التحبب إلي الحد أنه لا يمكن رؤية المعادن فيها بسهولة دون استخدام (الميكروسكوب المستقطب). وتتكون هذه الصخور نتيجة تحول الطفل غالبا أو رواسب الرماد البركاني أحيانا. ويكون الإردواز رماديا قاتما إلي أسود عادة، يتلون بسبب وجود القليل من المادة العضوية والتي كانت توجد في الطفل أصلا. وقد يكتسب الإردواز ألوانا حمراء أو قرموزية، نتيجة وجود معادن أكاسيد الحديد. أما لون الإردواز المخضر فيرجع إلي وجود الكلوريت، وهو معدن سيليكاتي صفائحي أخضر اللون يدخل الحديد في تركيبه ويرتبط مع الماء.





Chloritoid slate

٢ – الفيليت:

يكون الفيليت أعلى قليلا في درجة التحول من الإردواز في أصله وصفاته. وتميل صخور الفيليت لأن يكون لها بريق لامع من بلورات الميكا والتي تكون أكبر قليلاً عن تلك الموجودة في الإردواز. وتميل صخور الفيليت للانفصال إلي ألواح مثل الإردواز، ولكنها تكون أقل انتظاما. ويظهر الصخر تورقا واضحا ولذلك يسمى فيليت (من الكلمة اليونانية phylloo بمعنى ورقة).



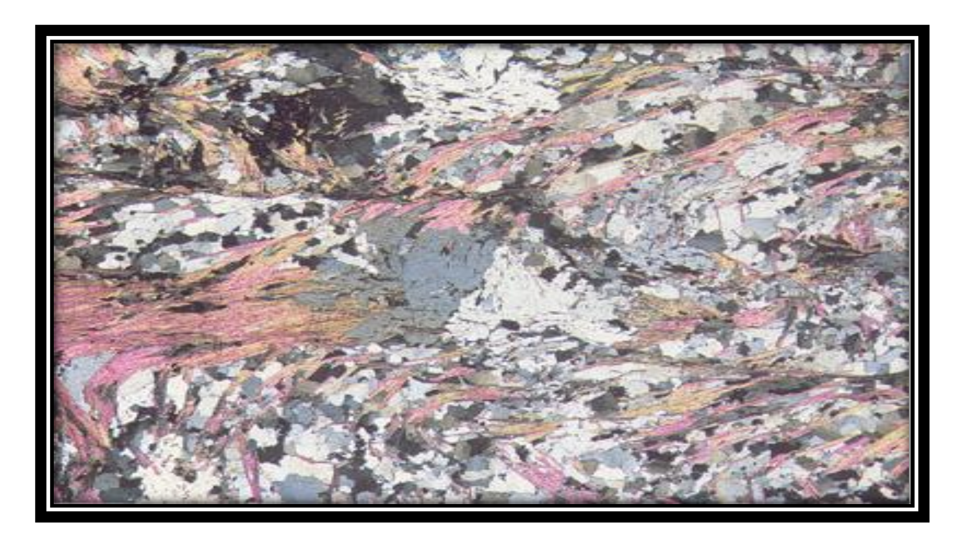
٣ – الشست:

عند رتبة التحول المنخفض تكون بلورات المعادن الصفائحية عموما صغيرة جدا لكي لا ترى ويكون التورق على مسافات متقاربة والطبقات رقيقة جدا. وإذا تم تحول الصخور المتحولة إلي رتبة أعلى، فإن التورق يصبح أكثر وضوحا وانتشارا خلال الصخر وتنمو البلورات الصفائحية في الوقت نفسه إلي أحجام ترى بالعين المجردة وقد تميل المعادن إلي التجمع في شرائط فاتحة وأخرى داكنة. ويؤدي هذا الترتيب للمعادن الصفائحية في الصخور خشنة التحبب إلي تكون التورق والذي يعرف بالشستوزية الذي يميز صخور الشست.

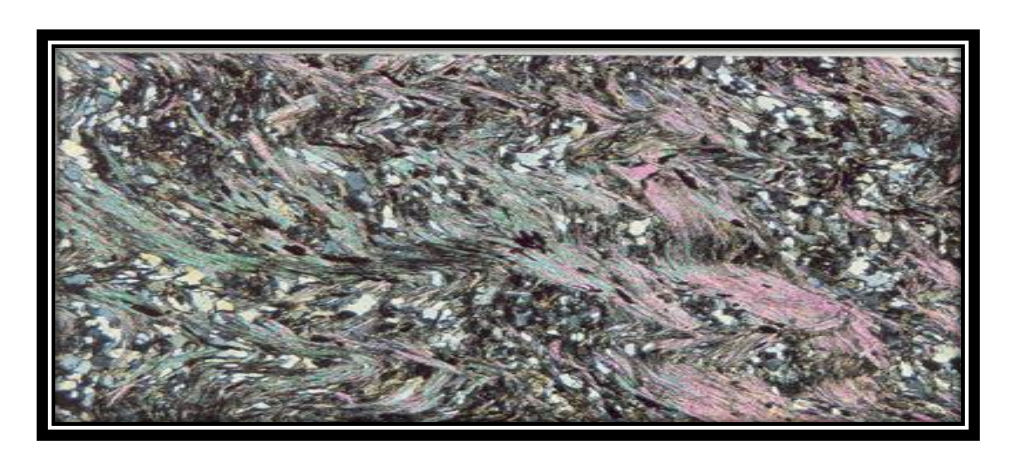
وتعتبر صخور الشست من أكثر أنواع الصخور المتحولة انتشارا وتحتوي على أكثر من ٥٠% من مكوناتها معادن صفائحية تتكون أساسا من كلوريت وميكا المسكوفيت والبيوتيت. وقد تحتوي صخور الشست علي طبقات رقيقة من الكوارتز والفلسبار أو كليهما اعتمادا على محتوى الطفل

أصلا من معدن الكوارتز. وعموما يتكون الشست في مراحل التحول الإقليمي المتقدمة للفيليت. ويستخدم مصطلح شست لوصف نسيج الصخر، بغض النظر عن تركيبه. ويمكن تمييز عدة أنواع من صخور الشست مثل:الشست الأخضر، والشست الأزرق، والشست الكلسي ، والشست التلكي.

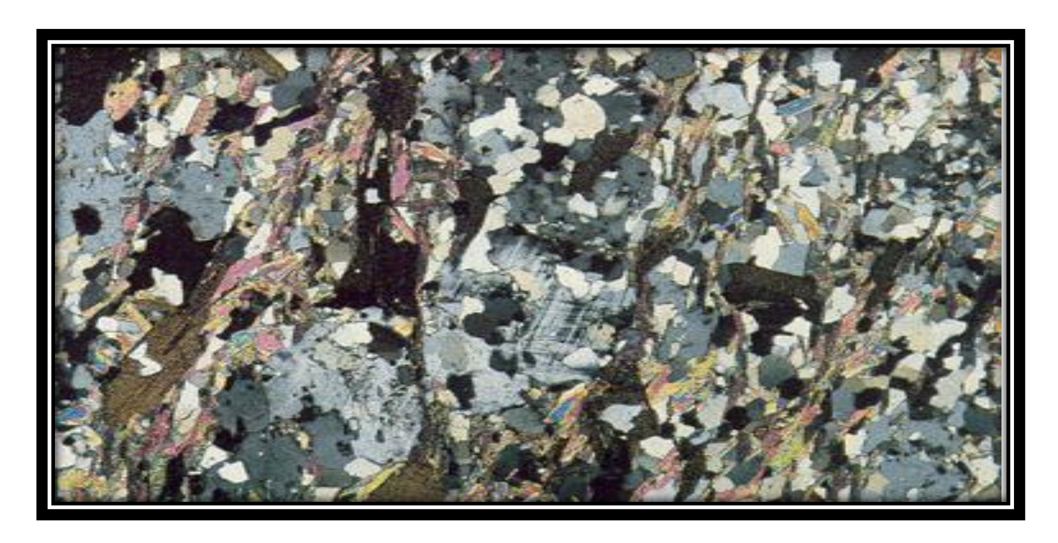




Chlorite muscovite albite schist



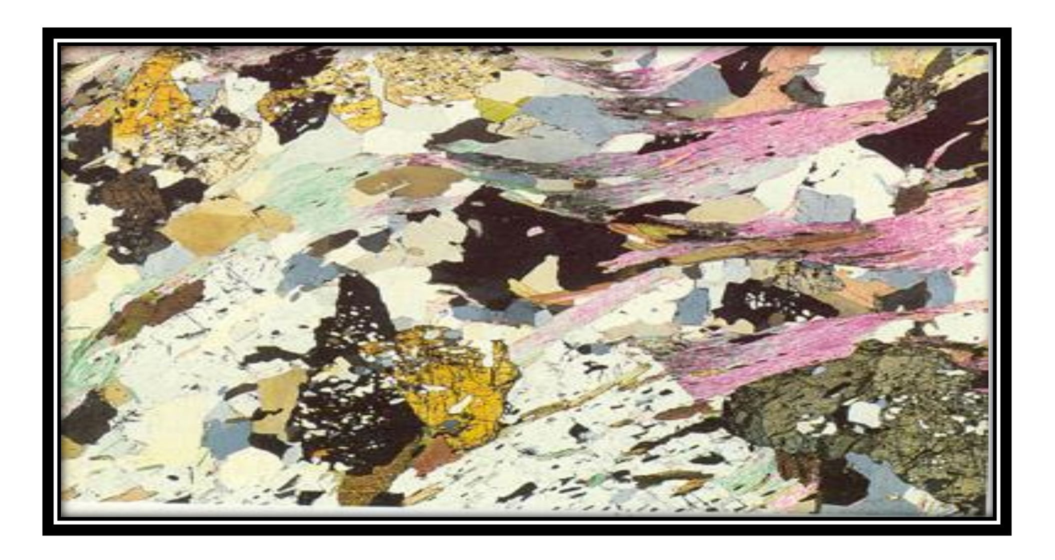
Biotite chlorite muscovite schist



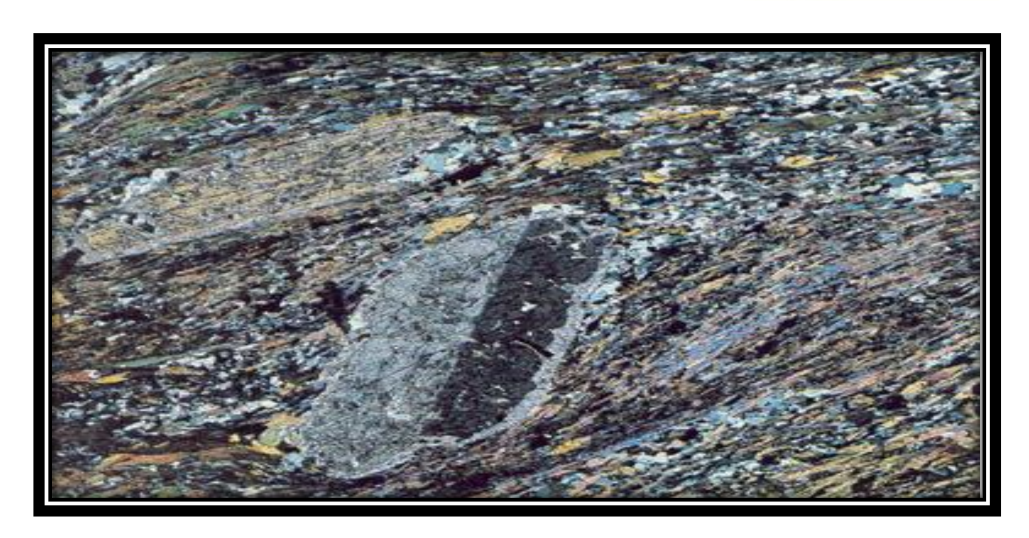
Microcline epidote mica schist



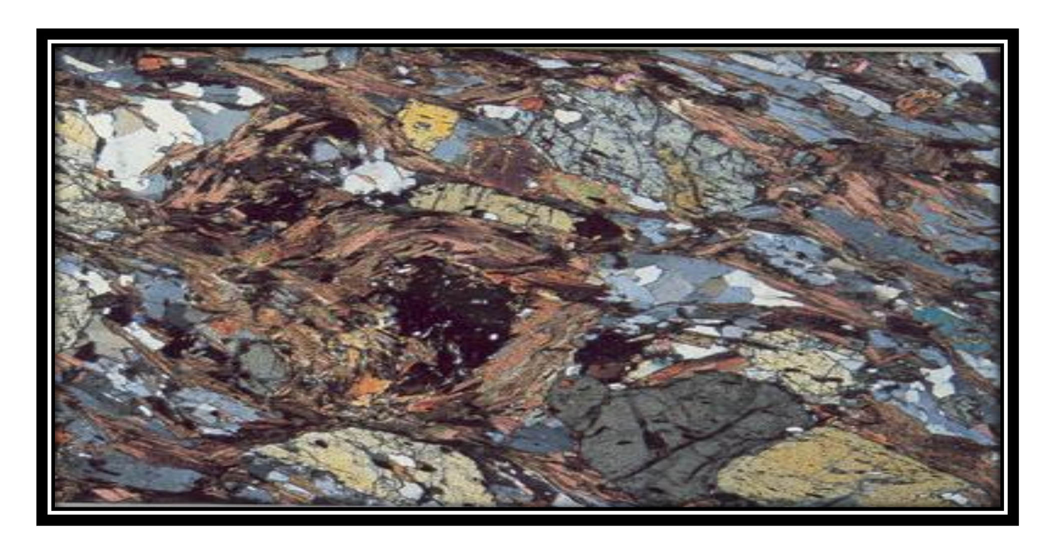
Garnet chloritoid schist



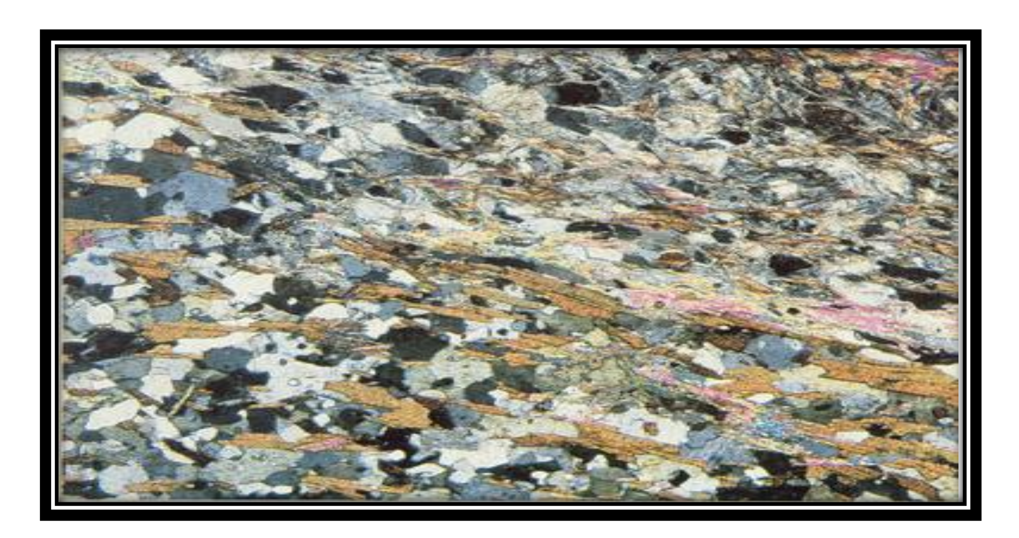
Staurolite schist



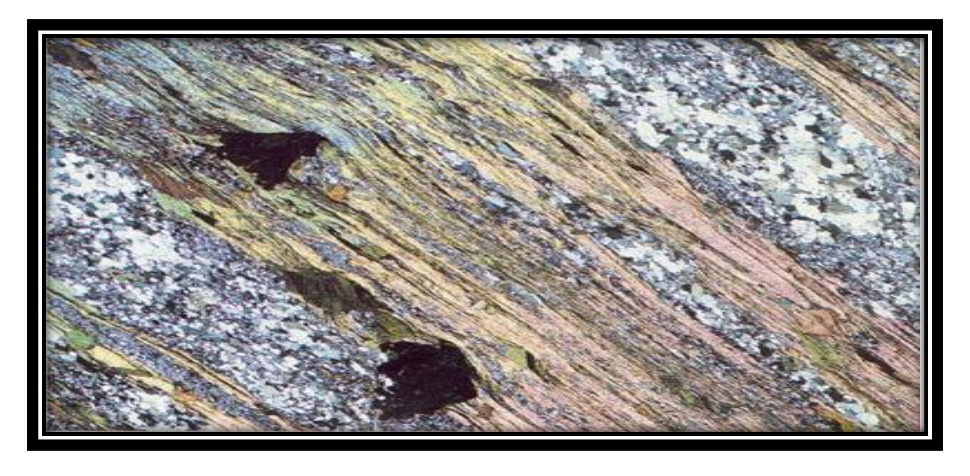
Kyanite biotite graphite schist



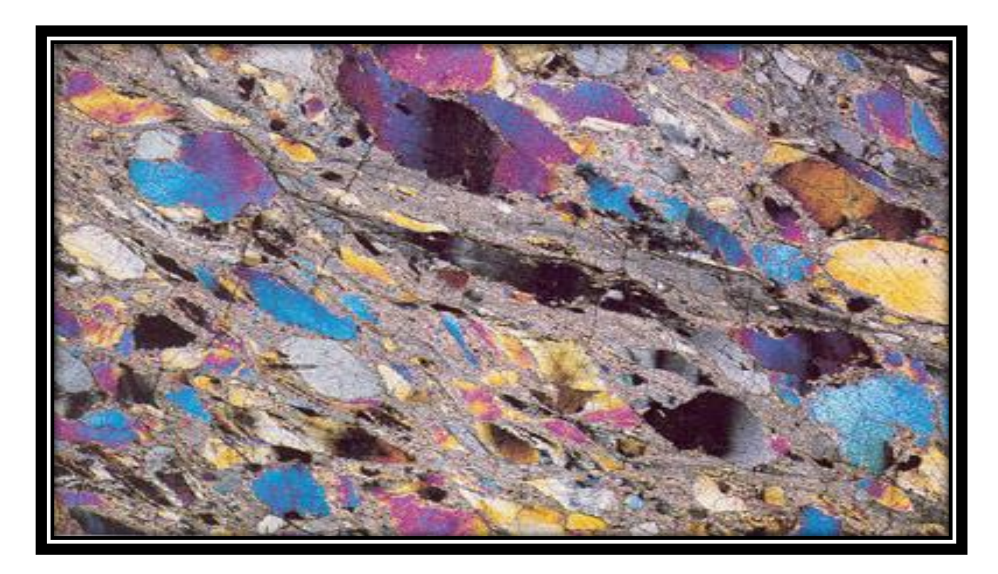
Sillimanite staurolite schist



Sillimanite K-feldspar biotite schist



Garnet biotite schist



Garnet staurolite schist/
biotite schist

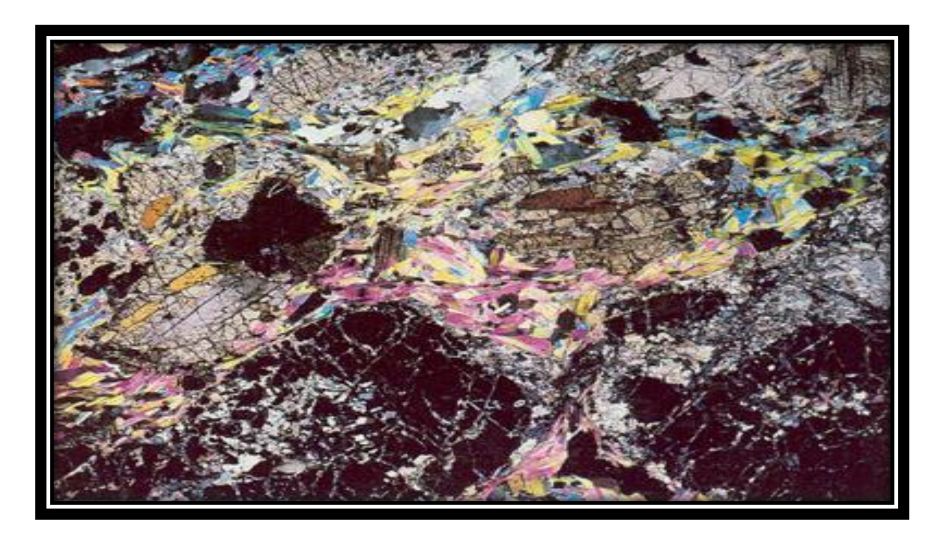
٤ – النيس:

يتكون النيس عند تحول عالي الرتبة. ويكون النيس فاتح اللون، تتبادل فيه شرائط من معادن فاتحة اللون مع أخرى داكنة اللون . ويكون التورق في النيس أقل وضوحا واستمرارية من التورق الموجود في النسيج الشستوزي. ولا ينفصل النيس على امتداد أسطح التورق، حيث توجد به نسبة قليلة من المعادن الصفائحية. وصخور النيس صخور خشنة التحبب، وتكون نسبة المعادن المحببة إلي المعادن المفلطحة أو الصفائحية أكبر من تلك الموجودة في الإردواز أو الشست. ونتيجة لذلك.. فإن التروق يكون ضعيفا ومتقطعا، وبالتالي تكون قابليه للانفصال أقل. ويسمي التورق في صخور النيس باسم النيسوزية. ويرحظ أن سمك الشرائط الموجودة في النيس يكون أكبر من ٢ إلي ٣مم. ويتحول التجمع المعدني المتكون عند درجات الحرارة العالية

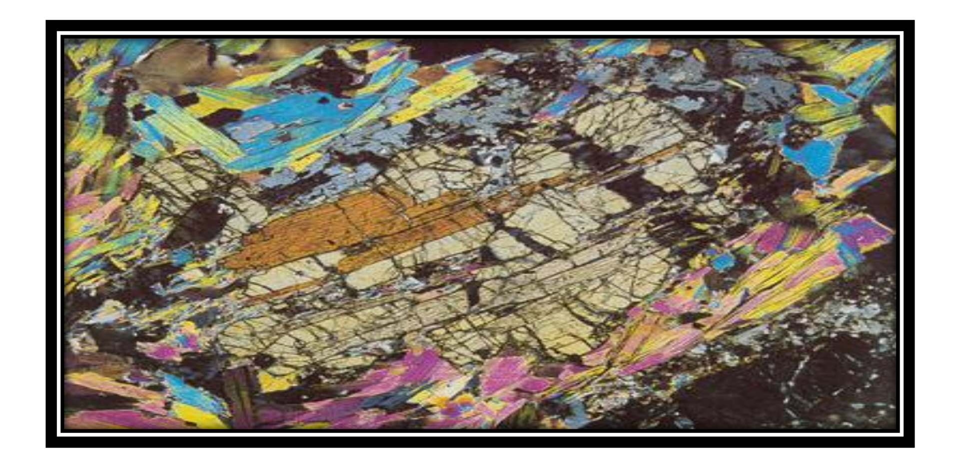
والضغوط المنخفضة، أي تحول منخفض الرتبة والذي يحتوي على معادن الميكا والكلوريت، إلي تجمع معدني غني بالكوارتز والفلسبار مع كميات أقل من الميكا والأمفيبول.

وتتكون الشرائط الفاتحة والداكنة اللون في النيس نتيجة تجمع معادن الفلسبار والكوارتز فاتحة اللون ومعادن البيوتيت والأمفيبول الداكنة والمعادن المافية الأخرى. وقد تكون بعض أنواع النيس هى المقابل المتحول لصخوررسوبية مثل الحجر الرملي والطفل، وتعرف بالبارانيس، كما يكون بعضها الآخر المقابل المتحول للصخور النارية مثل الجرانيت، ويعرف النيس بالأورثونيس.



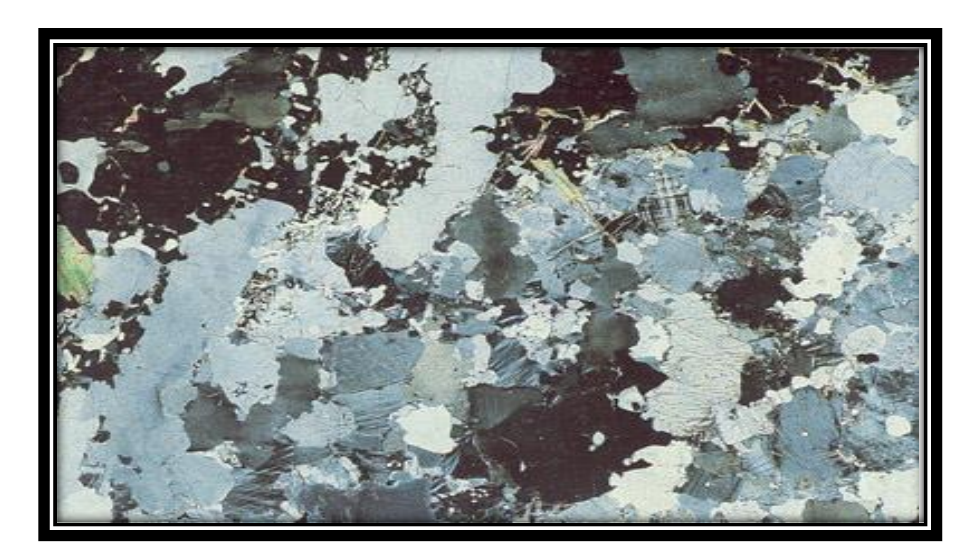


Garnet staurolite kyanite gneiss

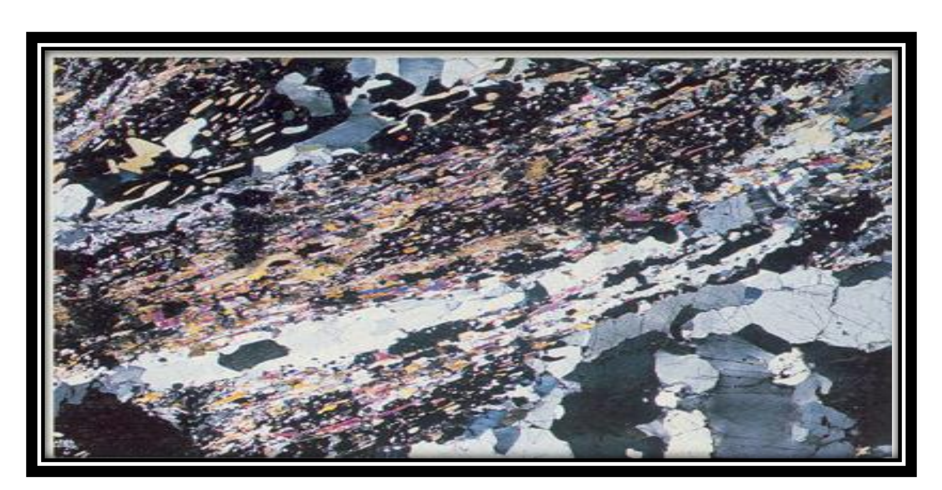




Garnet cordierite plagioclase sillimanite gneiss



Garnet cordierite
K-feldspar gneiss



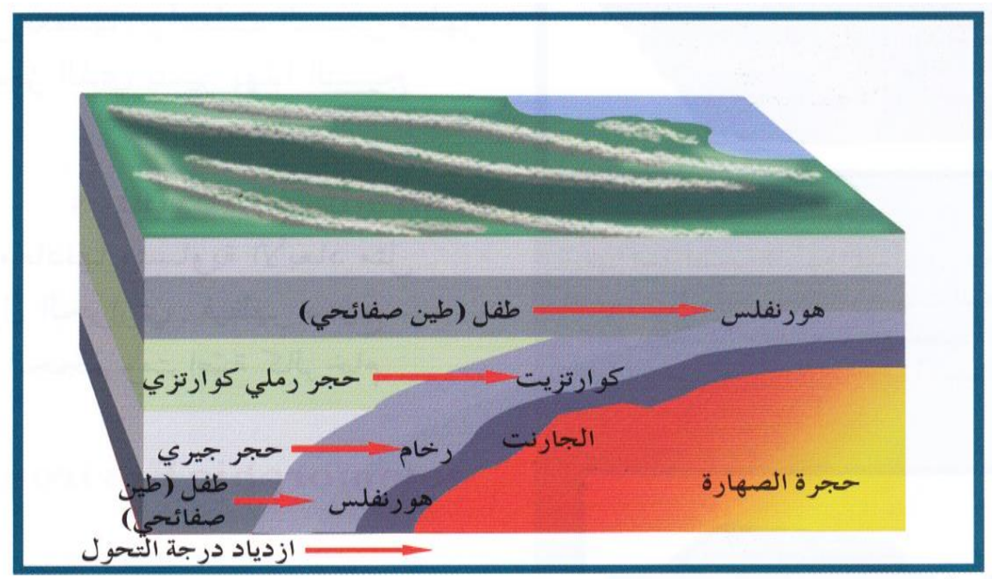
Migmatitic gneiss

ب – الأنسجة غير المتورقة (الجرانوبلاستيتية):

ليست كل الصخور المتحولة متورقة حيث يبدي بعضها توجيها مفصلا للبورات ضعيفا جدا مما يؤدي إلي اختفاء التورق تقريبا أو وجوده بنسبه قليلة. وتتكون الصخور غير المتورقة أساسا من بلورات متساوية الأبعاد تقريبا تنمو بالمعدل بنفسه في جميع الاتجاهات مثل المكعبات أو الكرات مع قليل من البلورات الصفائحية أو المستطيلة الشكل . ويعرف هذا النسيج غير المتورق بالنسيج الجرانوبلاستي (لاحقة بمعنى تحولي) . وقد تنشأ مثل هذه الصخور نتيجة التحول التحول التماسي أو الإقليمي أو الحرمائي أو التحول بالدفن. وتشمل الصخور غير المتورقة: الهورنفلس والكوارتزيت والرخام والأرجيليت والحجر الأخضر والأمفيبوليت والجرانيوليت، ويتم تصنيف تلك الصخور، باستثناء الهورنفلس، بناء على التركيب المعدني للصخر. ونعرض هنا وصفا لكل من هذه الصخور:

١ – الهورنفلس :

يعتبر الهورنفلس صخرا مميزا للتحول التماسي لصخور الطفل والجريواكي تحت ظروف من الحرارة العالية. ويتكون من حبيبات متساوية الأبعاد ليس لها توجيه مفضل، ولم تتعرض لأي تشوه أو تعرضت إلي تشوه قليل. أما البلورات الطويلة أو الصفائحية فتكون مرتبة ترتيبا عشوائيا. وتتميز صخور الهورنفلس بالنسيج الحبيبي عموما، على الرغم من أنها تحتوي عادة على معادن البيروكسين المستطيلة وكذلك بعض معادن الميكا.



يتولّد الهورنفلس (صخور طينية دقيقة الحبيبات) عن التحول التلامسي للطفل (الطين الصفائحي)، بينما يتولّد الكوارتزيت والرخام على التوالي عن التحول التلامسي للحجر الرملي الكوارتزيتي والحجر الجيري.

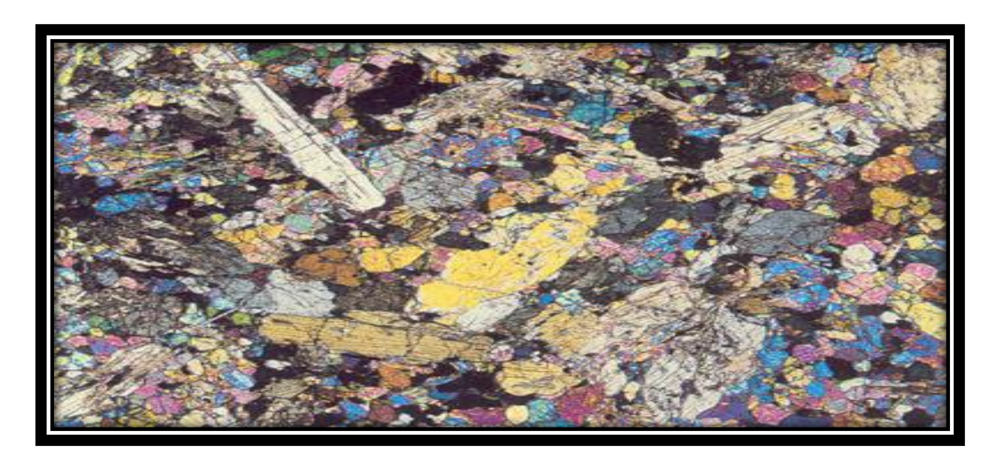




Hornfels



Cordierite chlorite biotite hornfels



Peridotite hornfels

٢ – الكوارتزيت :

الكوارتزيت صخر شديد الصلابة غير متورق وأبيض ، ينشأ من تحول أحجار رملية غنية بالكوارتز أو الصوان. وبعض أنواعه تكون كتلية – أي لا تتخللها مستويات تطبق تم حفظها أثناء التحول أو مستويات تورق. وتحتوي بعض أنواعه طبقات رقيقة من الإردواز أو الشست، وهى تمثل بقايا لطبقات من الصلصال أو الطفل. ويوجد الكوارتزيت في كل من مناطق التحول بالتماس والتحول الإقليمي.


Quartzite

٣ – الرخام :

ينشأ الرخام نتيجة تحول صخول الحجر الجيري والدولوميت بالضغط والحرارة. وقد ينشأ الرخام نتيجة للتحول التماسي أو التحول الإقليمي. وتبدي بعض أنواع الرخام الأبيض النقي مثل رخام كرارة الإيطالي الشهير، نسيج ناعم يتكون من حبيبات كالسيت متساوية الحجم ومتماسكة بينما قد تبدي بعض أنواع الرخام الأخرى تطبق غير منتظم أو تكون مبرقشة من شوائب سيليكاتية أو بعض المعادن الأخرى، التي كانت موجودة في الحجر الجيري قبل التحول.


Marble

٤ – الأرجليت:

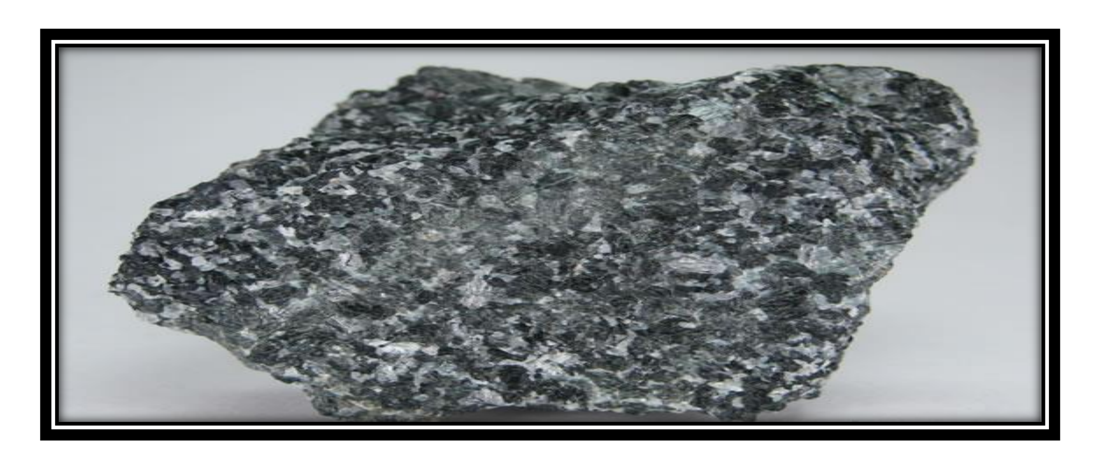
الأرجليت صخر غير متورق ينشأ نتيجة التحول الإقليمي منخفض الرتبة لحجر الطين أو أي صخر رسوبي آخر غني بمعادن الصلصال. ويتميز صخر الأرجليت بمكسر غير منتظم أو مكسر محاري. ويعزي عدم وجود التورق بهذا الصخر جزئيا إلي التحول منخفض الرتبة، وأيضا لوجود حبيبات كوارتز في حجم الغرين أو أي معادن أخرى في صخر الطين الأصليوالتي تتميز بعدم الاستطالة أو الصفائحية.

٥ - الحجر الأخضر :

يتكون الحجر الأخضر من صخور بركانية مافية متحولة منخفضة الرتبة. وهى تتكون عندما تتفاعل لابة مافية ورواسب الرماد البركانية مع مياه البحر المتخللة أو مع أي محاليل أخرى. ويغطي البازلت المتكون بهذه الطريقة مساحات كبيرة عند حيود وسط المحيط، حيث يكون التحول تاما أو جزئيا. كما تتفاعل الصخور البركانية المدفونة فوق القارات، وكذلك الصخور البلوتية الكونة من صخور نارية مافية (جابرو) مع المياه الأرضية (الجوفية) عند درجات حرارة تتراوح بين ١٥٠ إلي ٣٠٠م، وتتكون من صخور الحجر الأخضر. ويرجع اللون الأخضر لهذه الصخور إلي وجود معادن الكلوريت والإبيدوت والأكتينوليت.

٦ - الأمفيبوليت :

الأمفيبوليت صخر غير متورق غالبا ويتكون من معادن الأمفيبول وفلسبار اللاجيوكليز. ويتكون الأمفيبوليت نتيجة تحول متوسط أو عالي الرتبة لصخور بركانية مافية (أورثوأمفيبوليت). وقد تتكون بعض صخور الأمفيبوليت الأخرى نتيجة الإحلال المعدني للصخور الكربوناتية غير النقية والمارل (بارأمفيبوليت).



٧ - الجرانيوليت :

يتميز الصخر المتحول المعروف بالجرانيوليت بنسيجه الحبيبي إلا أنه يعرف بناءً على تركيبه المعدني حيث يتكون من معادن لامائية والذي يدل على رتبة تحول عالية إلي عالية جدا. وتضم

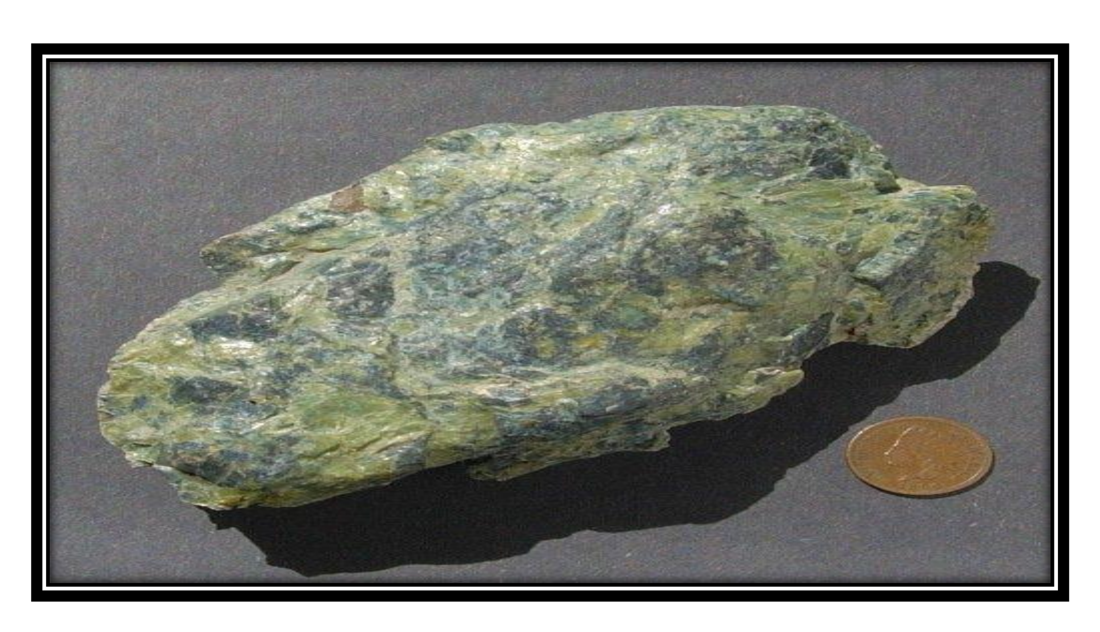
الصخور الحبيبية المتكونة عند درجة تحول أقل (التي لا تكون كلها جرانيوليت) صخور الكوارتزيت والهورنفلس. وتشمل المعادن المميزة لصخور الجرانيوليت كلاً من: الكوارتز والبلاجيوكليز والبيروكسين والجارنت والسيليمانيت. ومثل بقية الصخور المتحولة الحبيبية الأخرى، فإن صخور الجرانيوليت تكون متوسطة إلي خشنة التحبب حيث تكون البلورات متساوية الأبعاد وقد تبدي تورقا ضغيفا أو عدم تورق على الإطلاق. وتتكون هذه الصخور نتيجة تحول الطفل وصخور الحجر الرملي غير النقية وعديد من الصخور النارية الأخرى.



Sea-floor amphibolite

<u>٨ – السربنتينيت:</u>

السربتينيت صخر متحول مكون من معادن السربنتين. ويتميز بأنه دقيق التحبب ، أخضر، له بريق دهني ، وتصل صلادته إلي ٤. وهو صخر غير متورق لونه غامق جدا. يشيع فيه وجود أسطح ملساء ناعمة تشبه التورق، مع لون أفتح أو لون أخضر مبرقش(منقط). ويتكون السربنتينيت نتيجة تحول صخور نارية بلوتونية فوقمافية.



٩ - حجر الصابون :

حجر الصابون صخر ناعم جدا ذو ملمس صابوني، دقيق التحببات، يتكون من معدن التلك مع كميات مختلفة من معادن السربنتين والكلوريت والأمفيبول. وقد يختلف لون حجر الصابون حتى في العينة الواحدة. ويتكون حجر الصابون من التلك عندما يحتوي على نسبة عالية من الماغنسيوم، نتيجة تحول صخر البريدوتيت (صخر فوقمافي) عند درجة حرارة أعلى قليلا من السربنتينيت.

١٠- المجماتيت:



- أنسجة البلورات الكبيرة (بورفيروبلاست):

قد تنمو المعادن المتحولة الجديدة نتيجة زيادة درجة الحرارة وتتكون بلورات كبيرة تحيط بها أرضية دقيقة التحبب من المعادن الأخرى. ويقابل هذا النسيج ظاهريا النسيج البورفيري في الصخور النارية. وتعرف هذه البلورات الكبيرة بالبورفيروبلاستات وتوجد في كل من الصخور المتحولة بالتماس والمتحولة إقليميا. وتنمو تلك البلورات نتيجة إعادة ترتيب المكونات الكيميائية للأرضية، وهى بذلك تحل محل أجزاء من الأرضية، على عكس البورات الظاهرة في الصخور النارية. والتي تكون أول المعادن التي تتبلور أثناء تكون الصخور النارية. وتنمو بلورات البورفيروبلاستات بسرعة أكبر من بلورات معادن الأرضية. ويتراوح قطر البورفيربلاستات بين عدة ملليمترات إلي عدة سنتيميترات، كما يتغير تركيب البورفيروبلاستات أيضا. والجارنت والإشتوروليت والأندالوسيت من المعادن الشائعة في تكوين بلورات البورفيروبلاستات. ويمكن استخدام التركيب الدقيق وتوزيع بلورات البورفيروبلاستات لهذه المعادن للتنبؤ بضغوط ودرجات حرارة التحول. وبلورات الجارنت النقي الشفافة تكون ملونة بطريقة جميلة بألوان مثل الأحمر (العقيق الأحمر) والأخضر والأسود، حيث تبدي تدرجا في هذه الألوان. وتعتبر هذه الأنواع من الجارنت من الأحجار شبه الكريمة.

- أنسجة التشوه (الطحن):

يصاحب التشوه التركيبي معظم أنواع التحول، بينما يؤدي التشوه الميكانيكي على امتداد أسطح الصدوع إلي التحول التهشمي. وتؤدي حركة سطحي كتلتي الصخور أمام بعضها البعض إلي طمس المعادن وترتيبها في شرائط وخطوط، وتتكون صخور متحولة تعرف بالميونيت. وقد

تكون هذه الصخور دقيقة التحبب متورقة عندما تتكون في الأعماق البعيدة من القشرة الأرضية، حيث تتشوه الصخور تحت الضغوط العالية جدا بطريقة التشوه اللدن.

- التحول الإقليمى ورتبة التحول:

تتكون الصخور المتحولة، كما أسلفنا في مدى واسع من الظروف ولذلك تعتبر معادن وأنسجة الصخور المتحولة أدلة للتنبؤ بدرجات الحرارة والضغوط وكذلك بأماكن التحول في القشرة الأرضية ووقت تكون هذه الصخور. وعند دراسة نشأة الصخور المتحولة فإن الجيولوجيين يبحثون عن شدة التحول ومميزاته بدقة وليس فقط عن تحديد هل كان التحول منخفض الرتبة أو عاليها. ولتحقيق ذلك فإنه يتم تعيين المعادن التي تعتبر أدلة على درجات الضغط والحرارة. ويكون هذا الأسلوب أوضح ما يكون عند التطبيق في حالات التحول الإقليمي.

- رتبة التحول وتركيب الصخر الأصلي:

يعتمد نوع الصخر المتحول الذي ينشأ عند رتبة تحول معينة جزئيا على التركيب المعدني للصخر الأصلي. يتكون معدن الصلصال مثل الطفل عند درجات حرارة منخفضة تصل إلي نحو ٢٠٠م، حيث يشير وجود أعلى رتبة تحول منخفضة. ويتكون عند أعلى رتبة تحول للصخور الغنية في معادن الصلصال معدن السيليمانيت حيث تزيد درجة الحرارة عن ٥٠٠م.

وتتميز الصخور الناتجة عن التحول الإقليمي لصخور البازلت عند أقل رتبة تحول باحتوائها على معادن الزيوليت وهى مجموعة من المعادن الألومينوسيليكاتية المائية التي تشبه الفلسبارات في تركيبها، حيث يشكل الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم الفلزات الأساسية بها. وتتميز هذه المجموعة بأنها تفقد وتكتسب ماء التبلور بسهولة. وتتكون هذه المعادن نتيجة التحول عند درجات حرارة وضغط منخفضة جدا.

وتتداخل رتبة الزيوليت مع رتبة أخرى أعلى في درجة الصخور البركانية المافية (البازلت) ممايؤدي إلي تكون صخور الشست الأخضر والتي تضم مجموعة من المعادن الشائعة مثل: معادن الكلوريت والإبيدوت (يحتوي معدن ألومينوسيليكات على عنصر الحديد والكالسيوم). ويلي الشست الأخضر تكون صخور الأمفيبوليت، والتي تحتوي على كميات من معادن الهورنبلند (أحد معادن الأمفيبول) وفلسبار البلاجيوكليز والجارنت. أما أعلى رتب تحول الصخور البركانية المافية حيث تكون درجة الحرارة مرتفعة والضغط متوسط، فإنها تؤدي إلي تكون الجرانيوليت وهى صخور خشنة التحبب تحتوي على البيروكسين والبلاجيوكليز الكلسي.

وعلى الجانب الآخر فإذا كان الضغط مرتفعا ودرجة الحرارة متةسطة فإنه تتكون صخور تعرف بصخور الشست الأزرق. وتكتسب هذه الصخور اسمها من وجود معدن الجلوكوفين، وهو معدن أمفيبول أزرق (يتميز بوجود نسبة من الصوديوم)، بالإضافة إلي معادن الكيانيت ولاوسونيت.

ومازال هناك صخر متحول آخر يتكون عند أقصى درجات الضغط ودرجات حرارة تتراوح بين متوسطة إلي عالية وهو صخر الإكلوجيت الغني في معدني الجارنت والبيروكسين.

- سحنات التحول:

لقد أوضحت الدراسات الدقيقة للصخور المتحولة في جميع أنحاء العالم، أن التركيب الكيميائي لمعظم الصخور يتغير قليلاً أثناء التحول. وتتمثل التغيرات الرئيسية التي تحدث في إضافة أو فقد بعض المواد المتطايرة، مثل: الماء وثاني أكسيد الكربون. أما المكونات الرئيسية مثلSiO و Al2O و CaO و K2O ، فإنها تبقى ثابتة. كما أوضحت تلك الدراسات أن التغيرات التي تحدث أثناء التحول هى تغيرات في تجمعات المعادن وليس في التركيب الكيميائي العام للصخور. ولقد أدت هذه الملحوظة إلي استنتاج أن تجمعات المعادن في الصخور المتحولة والمستمدة من الصخور النارية والرسوبية الشائعة يجب أن تتحدد بدرجات الحرارة والضغوط التي تعرضت لها هذه الصخور خلال التحول. واعتمادا على هذه النتيجة، فقد اقترح العالم الفنلندي الشهير إسكولا في عام ١٩١٥م مفهوم السحنات المتحولة. ويدل هذا المفهوم على أن كل مجموعة معادن تمثل تركيب صخر معين تصل إلي حالة اتزان أثناء التحول، وفي مدى معين من الظروف الطبيعية لابد أن تنتمي إلي سحنة التحول نفسها. وقد بني إسكولا نتائجه على دراسة صخور البازلت المتحولة والتي كانت موجودة بين تتابع من الطبقات مختلفة التركيب تماما.

والنقاط الأساسية في مفهوم سحنات التحول هى:

١ - كل الصخور التي لها التركيب الكيميائي نفسه تعطي التجمع نفسه من المعادن نتيجة التفاعل بين المعادن في السحنة الواحدة، ويتغير التجمع المعدني عند الانتقال من سحنة إلي أخرى نتيجة التفاعل بين المعادن(للتركيب الكيميائي نفسه).

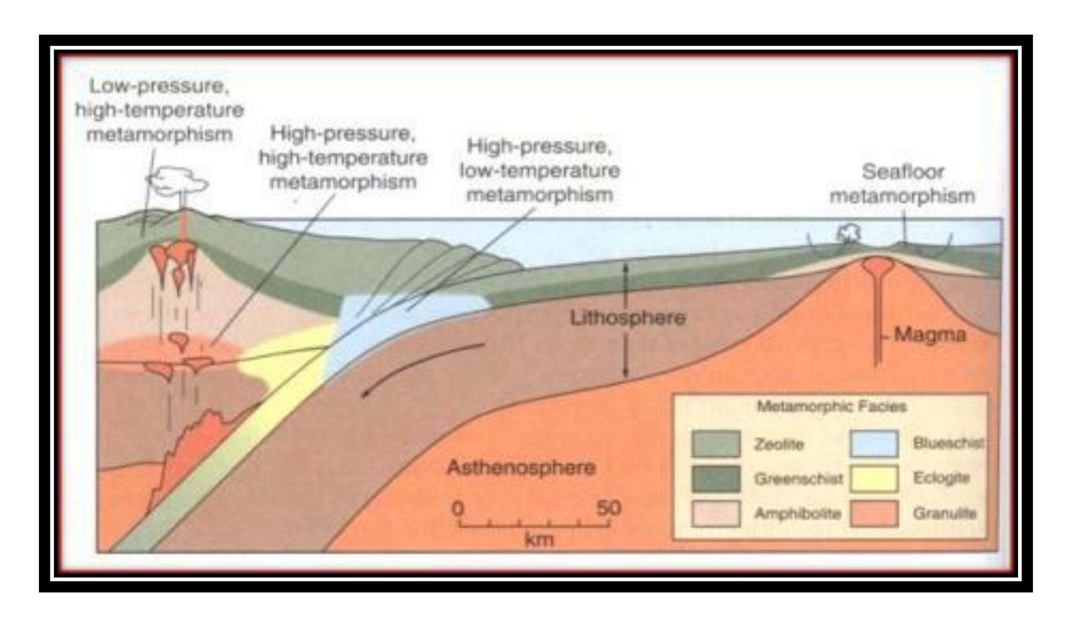
٢ - تتكون الأنواع المختلفة من الصخور المتحولة نتيجة تحول صخور أصلية ذات تركيب كيميائي مختلف عند رتبة التحول نفسها..

وحيث إن مفهوم السحنات المتحولة الذي اقترحه إسكولا كان يقوم على دراسة صخور البازلت المتحولة فإن معظم الأسماء التي أعطيت للسحنات المتحولة تعكس تجمعات معدنية تكونت من صخور ذات تركيب بازلتي مثل سحنة الشست الأخضر، إلا أن هناك بعض السحنات التي تعرف بأسماء صخور أخرى مثل الجرانيوليت، أو بعض المعادن الشائعة في تلك السحنات، مثل: سحنة الزيوليت والبرينيت والبميليت .

ويماثل مفهوم السحنات المتحولة تحديد النطاقات المناخية بواسطة بعض التجمعات النباتية في كل نطاق مناخي، فيقابل النطاق الذي تنتعش فيه السراخس وأشجار النخيل والعنب مناخا يتميز بدرجات حرارة دافئة وأمطار غزيرة، بينما يتطلب التجمع النباتي المكون من أشجار النخيل والصبار وكف مريم (نبات عطري الرائحة) مناخا حارا جافا.

ويلاحظ أنه عند نهاية الحد الأعلى للسحنات عالية الرتبة فإن الصخور المتحولة تنصهر جزئيا في مرحلة انتقالية إلي صخور نارية. وهذه الصخور تكون مشوهة (معقوصة) ومطوية بقوة ويتخلله عديد من العروق ويكون الصخر المنصهر على هيئة أجسام قرنية صغيرة وعدسية

الشكل. ويسمى هذا النوع من النيس الذي تتخلله العروق والمتحول عند رتبة تحول عالية جدا بالميجماتيت وهو مصطلح يطلق على خليط من الصخور النارية والمتحولة. وتتكون بعض الميجماتيت من الصخور المتحولة مع وجود نسبة من الصخور النارية بينما تتعرض بعض أنواع الميجماتيت الأخرى للانصهار لدرجة أنه يمكن اعتبارها صخورا نارية تقريبا.



علاقة سحنات التحول بحافات الأطباق التكتونية التباعدية والتقاربية ودور كل من الضغط ودرجة الحرارة والمحاليل الكيميائية في تحديد نوع السحنات التحولية (Hamblin and Christiansen, 1998

هنالك العديد من أنواع السحنات أهمها الآتي:

١-سحنة الزيولايت: Zeolite facies

هي السحنة التي تسود نطاق التحول الاقليمى ذات درجات الحرارة العادية الواطئة (٢٠٠ – ٣٠٠) والضغط الواطئ ٢٠٠٠-٣٠٠٠ بار). الصخور في هذه السحنة تعتبر نتاج عملية إنتقالية بين عملية التحوير Diagenesis وعملية التحول metamorphism والتي تتضمن تكوين معدن الزيولايت Zeolite والمعادن طينية وتبلور الكوارتز والفلسبار.

٢-سحنة الشست الأخضر:Green schist facies

هي السحنة التي تسود نطاق التحول الاقليمى ذات درجات الحرارة العادية الواطئة والضغط المتوسط. يتميز النطاق بوجود صخور الشست الأخضر Green schist والتي تتكون من معادن السيلكات المائية (غالباً معادن خضراء) مثل المسكوفايت Muscovite، الكلورايت Chlorite، التلك Talc، الأكتينولايت Actonolite، الأبيدوت Epidote والجلوكوفين Golocophane.

٣- سحنة الامفيبولايت: Amphibolite Facies

تدخل في نطاق التحول الاقليمي في ظروف من الحرارة المعتدلة والضغط المعتدل. يتميز النطاق بوجود صخور الأمفيبولايت والشست schist ذات التراكيب الصفائحية Foliated والخطية Banded والغني بمعادن المسكوفايتMuscovite، البيوتايتBiotite، الاشتارولايتStaourolite،الكيانايتKyanite، الهورنبلندHornblende، البلاجيوكليز Plagioclase والكالسايت Calcite .

٤- سحنة الجرانيولايت: Granulite facies

نتاج تحول اقليمي في المناطق السحيقة ذات درجات الحرارة العالية جداً والضغط المنتظم العالي جداً. يتميز النطاق بوجود صخورمتماسكةCrystalline ذات تبلور كيميائي وتشوه كبير والغني بمعادن قريبة من المعادن المتكونة مباشرة من الصهير مثل صخور النايس Gneiss والجرانيولايت Granulite والتي تحتوي غالباً علي معادن البلاجيوكليزPlagioclase، الهورنبلندHornblende، البيوتايتBiotite، البيروكسينPyroxene والقارنتGarnet.

٥- سحنة البروكسين- هورنفلس: Pyroxene-Hornefels facies

نتاج تحول تماسي حراري في مناطق تداخل الكتل الصهيرية في ظروف من الحرارة العالية جداً والضغط الاتجاهي المعتدل. يتم التحول في الأجزاء الداخلية من دائرة التحول بالقرب من مركز تداخل الكتل الصهيرية.

٦- سحنة الساندينايت: Sanidinite facies

تدخل أيضاً في نطاق التحول الحراري التماسي في مناطق التي تتوفر فيها ظروف من الحرارة العالية جداً والضغط الواطئ (في السطح أو في اعماق ضحلة). يتميز النطاق بوجود صخورمتماسكةCrystalline ذات تبلور كيميائي وتشوه كبير والغني بمعادن قريبة من المعادن المتكونة مباشرة من الصهير مثل صخور النايس Gneiss والجرانيولايت Granulite والتي تحتوي غالباً علي معادن البلاجيوكليزPlagioclase، الهورنبلندHornblende، البيوتايتBiotite، البيروكسينPyroxene والقارنتGarnet.

٧- سحنة الأكلوجايت: Eclogite facies

تسود المناطق السحيقة ذات درجات الحرارة العالية جداً والضغط المنتظم العالي جداً. يتميز النطاق بوجود صخورمتماسكةCrystalline وغنية بمعادن الأمفوسايت Omphacite والبيروكسينPyroxene .

نطاقات التحول بالتماس:

يمكن مشاهدة تأثير التحول لجسم ناري متداخل عند مكشف صخر الطفل المقطوع بقاطع أو تتواجد بين طبقاته جدة موازية. وعند حدود تلامس الطفل مع القاطع، فإن الطفل يمكن أن يفقد كل نسيجه الأصلي، حيث يختفي التطبيق وتنطمس الحفريات ويتغير التركيب المعدني للطفل تماما. ويتكون الصخر الملاصق تماما للقاطع من بلورات كبيرة من البيروكسين أو معادن ألومينوسيليكاتية مثل الأندالوسيت، والتي لا توجد في معادن الصلصال دقيقة التحبب مثل الطفل والصخور الرسوبية عموما. وبعيدا قليلاً عن سطح التلامس أي من عدة سنتيمترات إلي متر

واحد، فإن حدود التطبق للطفل يمكن رؤيتها ولكنها تكون ضعيفة كما يمكن ملاحظة أن معادن الصلصال قد تغيرت إلي ميكا متبلورة. وعلى مسافة أبعد من سطح التلامس، يكون الطفل غير متغير تماما. وهكذا فإن نطاقات الصخور المتحولة بالتماس تكون مميزة بمعادن دالة تعكس رتب التحول المختلفة مثلها في ذلك مثل الصخور المتحولة إقليميا.

أ - هالات التحول (هالات التماس):

تسمى المنطقة من الصخور المتحولة المجاورة للمتداخل الناري بهالة التحول أو هالة التماس . ويعتمد سمك وخصائص هالة التحول على درجة حرارة الصهارة وعمق الصهارة المتداخلة في القشرة الأرضية. وتكون هالة التماس أوضح كثيرا عندما يتداخل جسم مافي، مثل تداخل الجابرو، وتصل درجة حرارته إلي نحو ١٠٠٠م في صخور القشرة على بعدكيلومترات قليلة بالقرب من السطح، حيث تتراوح درجة الحرارة بين نحو ٦٠ إلي ٩٠م. وفي هذا النوع من التحول، فإن درجة الحرارة تكون عالية جدا عند حد التماس، ولكنها تنخفض بسرعة إذا ابتعدنا عن هذا الحد. أما المتداخلات عند درجات حرارة أقل، مثل تداخل الجرانيت عند نحو ٦٠٠م، فإنها تتداخل في الأجزاء الأعمق من القشرة الأرضية حيث تكون درجة الحرارة مرتفعة. ولذلك

لا تسبب هذه المتداخلات ارتفاعاً كبيراً في درجة حرارة الصخور المحيطة، وبالتالي تكون التغيرات التحولية أقل.

ب - رتبة التحول وتركيب الصخر الأصلي:

تختلف نطاقات التحول بالتماس باختلاف أنواع الصخور الأصلية التي تكون مماسة للمتداخلات الساخنة. وعلى الرغم من أن الرسم التخطيطي لسحنات التحول لا تضم الصخور المتحولة بالتماس إلا أن هذه الصخور تظهر العلاقة نفسها بين رتبة التحول وتركيب الصخر الأصلي حيث تختلف أنماط رتب تحول المعادن التي يبديها الحجر الجيري غير النقي والذي يتكون أساسا من معادن الكربونات ، عن تلك الأنماط التي يبديها الطفل والذي يتكون في معظمه تقريبا من معادن سيليكاتية. فعند تعرض صخور حجر جيري غير نقي للتحول بالتماس، فإن معادن الكربونات تتفاعل مع شوائب السيليكا في الصخر لتكون معدن ولاستونيت وهو معدن فاتح يحتوي على الكالسيوم ويشبه معدن البيروكسين.

ويهرب ثاني أكسيد الكربون الناتج عن هذا التفاعل في صورة غاز عبر الشقوق والمسام في الصخور. ويحدث هذا التفاعل عند درجات حرارة نحو ٥٠٠م وضغوط قريبة من سطح الأرض

أو عند درجات حرارة أعلى نتيجة زيادة الضغط. وهكذا، فإن وجود معدن الولاستونيت يعتبر دليلاً على رتبة تحول صخر المصدر والذي تكون الكربونات هى المكون الأساسي له. ويوجد معدن الولاستونيت الذي يتكون عند درجات الحرارة الأعلى مع معدن الجارنت ومعدن الديوبسيد (بيروكسين يحتوي على الكالسيوم والماغنسيوم) بالقرب من حدود التماس. فإذا ابتعدنا عن حدود التماس مع الجرانيت، فإننا نجد نطاقا يحتوي على السربتين (سيليكات ماغنسيوم يحتوي على الماء المرتبط كيميائيا) مع الكلوريت والكالسيت. فإذا ابتعدنا أكثر، نجد نطاقات تحول عند درجات حرارة أقل، تتكون من صخر الرخام الخالي من السيليكات ويحتوي على الكالسيت والدولوميت. وبعد هذا النطاق لا تظهر أية آثار للتحول في الحجر الجيري. وقد يبلغ عرض الهالة الكاملة عدة مئات من الأمتار. وجدير بالملاحظة أنه يمكن حدوث تبادل كيميائي واضح في هالة التحول بين الجسم الناري المتداخل والصخور المحيطة بها. لذلك فإن هذه العملية يمكن اعتبارها نوعا من عملية التحول، والتي كما ذكرنا سابقا تؤدي إلي تغير كيميائي في تركيب الصخر الكلي.

ويؤدي التحول بالتماس للصخور السيليكاتية مثل الطفل إلي التحول التدريجي (التقدمي)، أي تكون نطاقات معادن متنامية تظهر تغيرا متصلا ومستمرا في رتبة التحول، إلا أن مجموعة المعادن المتكونة تختلف عن تلك التي تظهر في صخور الحجر الجيري المتحولة. فيوجد عند حدود التماس صخور الهورنفلس التي تحتوي على البيروكسين والميكا. وتوجد في النطاقات الداخلية القريبة من حرارة الصخور المتداخلة، معادن من سيليكات الألومنيوم النقية مثل معدن السيليمانيت المميز. بينما في النطاقات الخارجية الأقل في درجة الحرارة، تتحول معادن الكوارتز والصلصال والكربونات في الطفل إلي معادن ميكا البيوتيت والأندالوسيت والأمفيبول والكاسيت. وفي النطاقات الخارجية الأبعد، تتكون معادن الكلوريت والمسكوفيت. وهذا النوع من هالات التحول لا يحتوي على أي تبادل كيميائي في هالات التحول بين المتداخل الناري والصخور المحيطة. وبذلك لا يوجد تغير في التركيب الكيميائي الكلي للصخور، أي لا توجد عملية تحوال للصخور.

التحول وتكتونية الألواح:

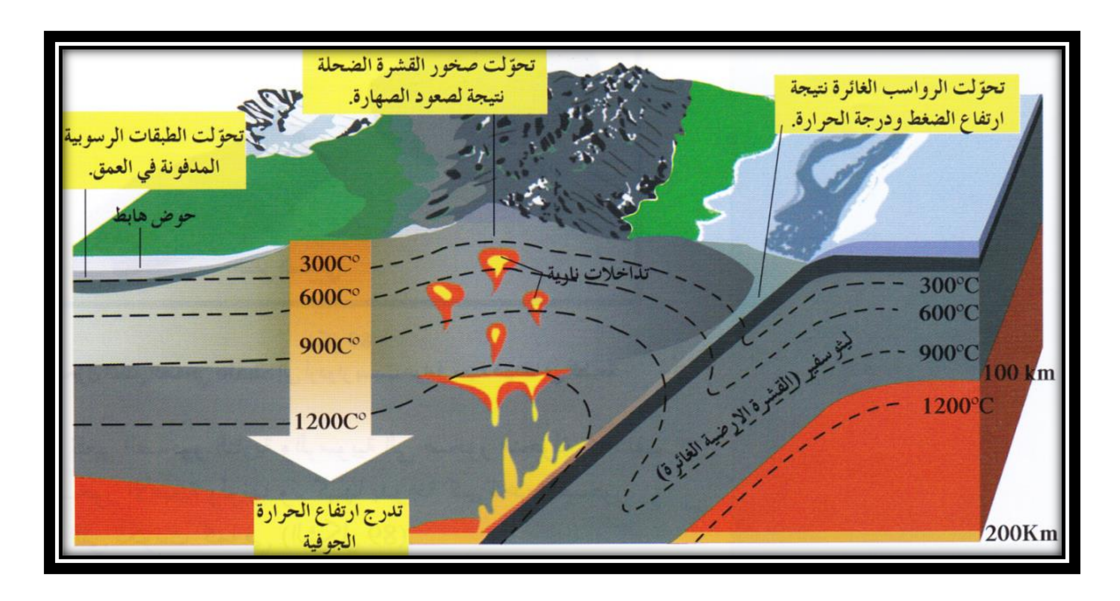
إن أحد النجاحات التي أحرزتها نظرية تكتونية الألواح أنها أمدتنا للمرة الأولى بتفسير لتوزيع نطاقات الصخور المتحولة في الصخور المتحولة إقليميا. وقد أوضحنا عند بداية هذا الفصل العلاقة بين الأوضاع التكتونية المختلفة والعمليات الجيولوجية (مثل النشاط البركاني ونشأة الجبال) التي تسبب الأنواع المختلفة من التحول . كما يمكننا أيضا أن نستنتج موقع الصخر في التحول على أساس رتبة التحول والتركيب.

وترتبط صخور الحجر الأخضر والتي تنتج عن تحول صخور نارية مافية مثل صخور البازلت والجابرو بالتحول الحرمائي عند حيود وسط المحيط أثناء تباعد الألواح. فعندما يحدث انتشار لقيعان المحيطات وتصعد الصهارة البازلتية من الوشاح تحول حرارة الصهارة صخور البازلت المنبثقة حديثا في وجود الماء إلي صخور متحولة ذات رتبة تحول منخفضة تتبع سحنة الشست الأخضر. ويلعب دوران السوائل الحرمائية خلال البازلت دورا مهماً في تحول صخور البازلت، حيث يتفاعل الماء مع المعادن اللامائية وتتكون معادن مافية مثل الكلوريت والسربنتين. كما يحل الصوديوم الموجود في الماء محل الكالسيوم في معدن البلاجيوكليز الموجود في صخور البازلت.

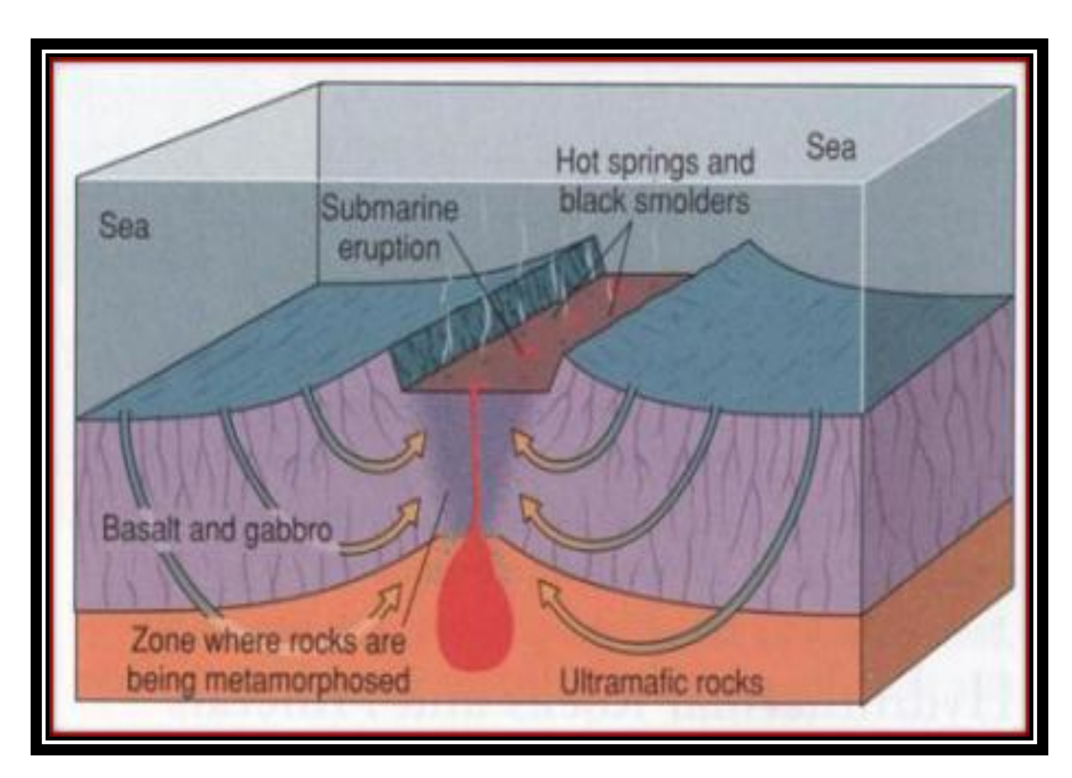
أن التحول الإقليمي يكون عند حد الاندساس للوح الهابط أثناء تقارب الألواح. فعندما تهبط الصخور المتبلورة لأسفل باللوح المندس بسرعة (نحو ١سم / عام) فإن الضغط يزداد تحت تلك الظروف عن درجة الحرارة بسرعة، ويتعرض الصخر لضغط عال ودرجة حرارة منخفضة نسبيا، وهى الضغوط ودرجات الحرارة المميزة لسحنة الشست الأزرق. ومن المحتمل أن تحول الشست الأزرق يحدث حاليا على امتداد الحافة الهابطة للوح الهادءيء، حيث يندس تحت شاطيء الأسكا وجزر اليوشان. ويتكون عند أعماق أكبر سحنة الإكلوجيت حيث تكون درجة الحرارة أكثر ارتفاعا.

وتتواجد الظروف المميزة لسحنتي السشت الأخضر والأمفيبوليت عندما يزيد سمك القشرة القارية نتيجة التصادم القاري أو ارتفاع درجة الحرارة بواسطة الصهارة الصاعدة. ويعتبر التصادم القاري أكثر مناطق التحول الإقليمي شيوعا حيث يمكن رؤية مساحات عريضة من الصخور المتحولة إقليميا في جبال الأبلاش والألب. كما يتميز عديد من المناطق في مصر والمملكة العربية السعودية بوجود عدة مناطق متحولة إقليميا مثل منطقة حفافيت بالصحراء الشرقية المصرية ووادي فيران ووادي الشيخ بسيناء. ويحدث مثل هذا التحول حاليا تحت جبال الهيمالايا حيث يزداد سمك القشرة القارية نتيجة التصادم وتحت جبال الأنديز حيث يزداد سمك القشرة الأرضية وترتفع درجة حرارتها من الصهارة الصاعدة. أما الأجزاء العميقة من القشرة القارية فإنها تسخن وتتحول إلي رتب مختلفة نتيجة تصادم القارات وزيادة سمك الغلاف الصخري، بينما يبدأ الانصهار الجزئي الرطب في النطاقات الأعمق حيث تتكون صخور الميجماتيت وقد تستمر العملية لتصل إلي الانصهار الكامل وتكون الصهارة. وبهذه الطريقة ينشأ خليط معقد من الصخور المتحولة والنارية في لب أحزمة التجبل، التي تنشأ خلال عملية تكون الجبال. وعندما تقوم التعرية بإزالة الطبقات السطحية بعد ملايين السنين، ينكشف لب أحزمة الجبال على السطح مما يؤدي إلي إمداد الجيولوجيين بسجل صخري لعمليات التحول التي كونت الشست والنيس وصخور متحولة أخرى. وترتبط أيضا عملية التحوال ونشأة المحاليل الحرمائية بتكتونية الألواح نظرا لأن التحوال يرتبط بالتحول الإقليمي والنشاط الصهاري

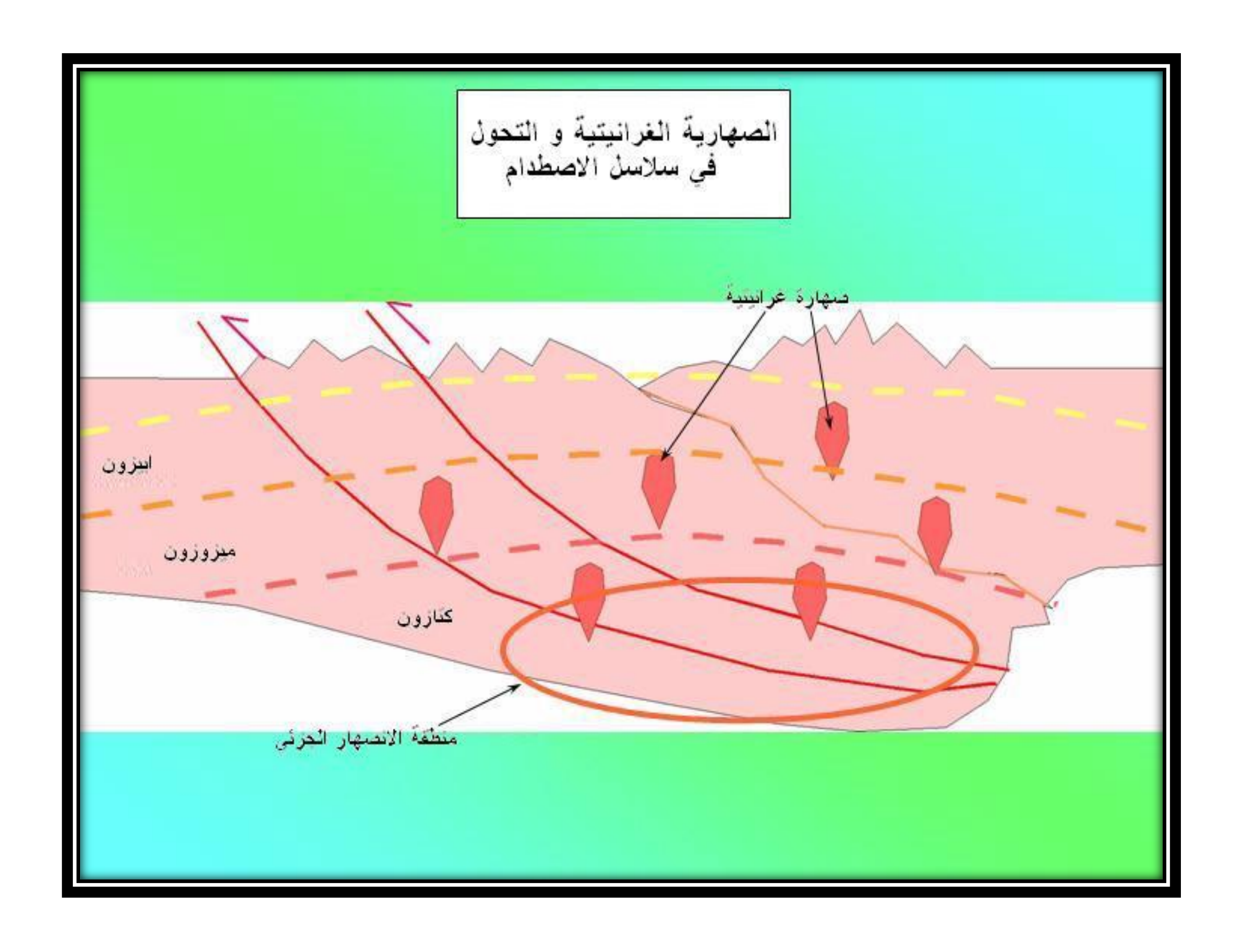
مثالا لتوزيع رواسب النحاس الغنية بمعدن الكالكوبيريت في أمريكا الشمالية والجنوبية حيث يمكن تمييز حزام من الرواسب المعدنية المتكونة في / أو مرتبطة ببراكين طباقية قديمة تمتد على الحافة الغربية للأمريكتين. وقد نشأت الصهارات التي كونت البراكين الطباقية نتيجة للانصهار الجزئي الرطب لقشرة محيطية مندسة بالإضافة إلي صخور الوشاح المتواجدة فوقها. كما كانت الصهارات مصدرا لحرارة المحاليل الحرمائية والتي أدت إلي تحول تلك الصخور المجاورة لها والتي انسابت خلالها المحاليل لتكون رواسب الخامات. كما يوجد التحول الحرمائي مصاحبا لمراكز الانتشار أيضا عند حيود وسط المحيط أي عند حواف القارات المتباعدة.



ويعتقد أن التحول بالدفن يوجد في الأجزاء السفلى من التراكمات السميكة للرواسب التي تتراكم على الرفوف والمنحدرات القارية. ومن المعروف أن مثل هذا التحول يحدث اليوم في التراكم الضخم للرواسب في خليج المكسيك.



الصخور المتحولة عند سلاسل جبال وسط المحيط ودور المحاليل الكيميائية الناتجة من الينابيع الساخنة في تكونها (Plummer *et al.*, 2003).


الصهارية الغرانيتية و التحول
في سلاسل الاصطدام
صهارة غرانيتية
ابيزون
ميزوزون
كتازون
منطقة الانصهار الجزئي

الفصل السادس: التجوية والتعرية



إذا كانت الجبال هى النتيجة المباشرة للعمليات الداخلية فإن هناك أيضا عمليات خارجية تؤدى دورا مكملا للعمليات الداخلية فى تكوين معالم وظواهر سطح الأرض. ولعل الدور الأكبر الذى تؤديه تلك العمليات الخارجية هى إزالة تلك الجبال وجعلها حطاما ونقل هذا الحطام من أماكنه الأصلية إلى أماكن أخرى ثم ترسيبه إياه . ويطلق على هذه العمليات أسم شامل لها وهو **التعرية Denudation**.



تعرية التربة

التعرية: (Denudation) : هي مجمل العمليات التي تجزِّيء الصخور وتفكّكها وتنقل أجزائها وتغير مظاهرها؛ وهي تشمل ثلاث عمليات مبدئية: التجوية والتآكل والنقل.

تشمل التعرية كل من:

١-**التجوية** weathering
٢-**التأكل** Erosion
٣-**النقل** Transportation
٤-**الترسيب** Deposition

ولكل منها عوامله ووظائفه ونتائجه

<u>والعوامل التى تقوم التعرية عديدة أهمها:</u>

١- الماء.
٢- الهواء.
٣- الأحياء.
٤- تقلُّب الحرارة.
٥- الرياح.
٦- الثلاجات.
٧- حركات الأرض.
٨- الجاذبية.

<u>وبما أن كل تغيّر يستهلك قسطاً من الطاقة، فعمليات التعرية تستمد الطاقة من ثلاث مصادر:</u>

١. **<u>الطاقة الشمسية</u>:** التي تبخر المياه وتولد الرياح.
٢. **<u>قوة الجاذبية</u>:** التي تجعل المياه والأجزاء المتفتتة تنهال باستمرار من الأعالي على نحو المنخفضات.
٣. **<u>الطاقة المنبعثة</u>:** من جراء التفاعلات الكيميائية التي تحدث على سطح الأرض.

<u>التعرية</u> أو **<u>الحت (Denudation)</u>:** عملية طبيعية تؤدي إلى انفصال الصخور أو التربة عن سطح الأرض في بقعة ما وانتقالها إلى بقعة أخرى. وهي تشمل ثلاث عمليات مبدئية: التجوية، والتآكل، والنقل. وتمتد عملية التعرية، عادة على امتداد آلاف بل ملايين السنين ومع ذلك فإن بعض الأنشطة البشرية مثل التعدين يمكن أن تؤدي إلى الإسراع بحدوثها وقد يستفيد الإنسان من هذه العملية، عن طريق يد المساعدة التي تقدمها في بناء تربة جديدة من الصخور المفتتة. ولقد أدت عملية التعرية أيضاً إلى نشوء تكوينات جيولوجية تخلب الأبصار، مثل الوادي الأكبر (جراند كانيون) في الولايات المتحدة الأمريكية. ومع ذلك، فالتعرية تسلب الأراضي الزراعية طبقتها العليا الخصبة والمنتجة، وتحمل مواد كيماوية ضارة إلى البحيرات والأنهار، كما أنها تسد المجاري المائية. ويقاوم الفلاحون هذه التعرية، عن طريق استزراع أحزمة كاملة من الأراضي الزراعية وغرس الأشجار فيها وبعض النباتات الآخرى التي تعمل على تثبيت التربة وحمايتها من الرياح والأمطار.

<u>التجوية (Weatherring):</u>

هي تفكيك الصخور الكبيرة المتماسكة إلى أجزاء صغيرة تتراوح أحجامها بين الحصى الكبيرة والأيونات. وتكون نتيجتها النهائية هدم الصخور وإزالة أجزائها. وتتم التجوية عبر طريقتين متكاملتين: ميكانيكية وكيميائية.



تجوية الميكانيكية

أنواع التجوية:

A-تجوية فيزيائية (ميكانيكية): (Physical Weathering (Mechanical) :

ويقصد بهذا النوع من التجوية ، العمليات الطبيعية التى تؤدى إلى تحطيم الصخر وتفككه إلى فئات وحطام صخرى دون المساس بالتركيب الكيميائى ويرادف التجوية الفيزيائية مصطلح التفكك (التفتت) Disintegration . ويطلق عليها أحيانا التجوية الفيزيائية وهي عملية تفتت الصخور إلى اجزاء اصغر دون حدوث اي تغيير في التركيب الكيميائي ودون حدوث نقل.

وتتضمن العمليات التالية :

١. تجمد المياه في الشقوق حيث تتمدد المياه عند تجمدها في الصخر فتعمل على تشقق الصخر كي تتمدد
٢. الرياح والماء والجاذبية.
٣. تاثير جذور النبات تعمل جذور النبات -أحيانا- على تفتيت الصخور في أثناء نموها وتمددها إلى داخل التربة.
٤. الحيوانات عندما تبني لها بيوت أو تختبىء تحت الرمال.
٥. -تحركات قشرة الأرض تحدث فوالقوتشققات متشعَّبة تكون البادئة بتصديع الصخور على نطاق واسع.
٦. -تسرب المياه في التشققات والمسام في فترات الرطوبة وتبخرها في أيام الجفاف، يتبع ذلك تحرك شامل للصخور يسهم في تصدعها.
٧. تجمد المياه في المناطق البارده داخل الشقوق والمسام بسبب زيادة حجمها، وبالتالي تسبب تصدع للصخور.
٨. نمو جذور النباتات يسهم في توسيع الشقوق الموجودة في الصخور وكذلك في إحداث شقوق جديدة.

وفيما يلى عرض لأهم عوامل التجوية الميكانيكية :

١- التمدد والانكماش الحرارى Thermal Expansion and Contraction :
تعتبر الصخور بصفة عامة من المواد الرديئة التوصيل الحرارة و لما كان الصخر - أى صخر - يتكون من عدة معادن وأن لكل معدن خصائصه الحرارية الخاصة به سواء أكانت هذه الخصائص تتعلق بمعامل التمدد أو الحرارة النوعية . فإن تأثير درجات الحرارة يظهر واضحا على الصخور مع البعد الزمنى الكبير .

فاختلاف درجات الحرارة وهو اختلاف كبير فى المناطق الصحراوية بين الليل والنهار الذى قد يصل فى بعض الأحيان إلى ٣٥مْ فى اليوم الواحد وهناك أيضا الفروق الموسمية بين الفصول المختلفة . كل هذا يؤدى إلى تكرار عملية تمدد المعادن وانكماشها وبالنظر إلى اختلاف معاملات التمدد الحرارى للمعادن فإنها تعمل بمرور الزمن على التفكك من بعضها البعض من خلال الضغوط الناتجة من تمدد المعادن بالحرارة مما يؤدى إلى إجهاد Stress الصخر وبالتالى خلخلة المستويات العليا من الصخر وكونا غطاء من الفتات الصخرى . وتعرف هذه العلمية باسم التقشر Exfoliation . وعندما يزال هذا الغطاء بفعل الرياح أو المياه الجارية فإن الصخر يصبح معرضا لتكرار نفس التأثير ... وهكذا .

٢- أثر تجمد المياه Frost Wedging :

كثيرا ما تحتوى الصخور على شقوق وفواصل ومسام صخرية وعندما يتغلغل فيها الماء وبتأثير الحرارة المنخفضة التى تصل إلى ما دون الصفر التي يتجمد فيها الماء. وينتج عن تجمد الماء وتحوله إلى جليد زيادة نسبيا فى الحجم تصل إلى ١٠% وتسبب هذه الزيادة ضغطا على الشقوق والفواصل والمسام الأمر الذى يؤدى إلى اتساعها وبتكرار عملية التجمد يتفكك الصخر إلى حطام صخرى .

ويتضح تأثير تجمد المياه فى المناطق الباردة ومنحدرات الجبال حيث تكثر بها الفواصل وتعرف نواتج هذا التأثير بالتالوس Talus وهى رواسب من الفئات الصخرى غير منتظم الأجزاء ويتميز بزواياه الحادة والمتراكم حول سفوح التلال والجروف .

٣- إزالة الحمل Unloading :

من المعروف أن الصخور فى حالة إتزان مع بعضها البعض بمعنى أن الطبقات السفلى من الصخور فى حالة إتزان - من حيث الضغط - مع الطبقات التى تعلوها لأن الضغط هنا متجانس فى جميع الاتجاهات . فإذا حدث ترسيب بعد ذلك فإن الضغط يزداد على الطبقات السفلى . ولا يحدث لهذه الطبقات أى تشوه ما لم يتعد الضغط الواقع عليها حد المرونة . وكل ما هناك أنه سوف يحدث تغير فى الحجم بحيث تنضغط الطبقات السفلى بتأثير الضغط الناتج من زيادة الحمل.

فإذا أزيل هذا الحمل بسبب عمليات التعرية فإنه سوف يحدث إختلال فى حالة الاتزان القائمة والتى سادت ما بين الضغط الخارجى (من طبقات الصخور العلوية) والضغط الداخلى المضاد لاتجاه الضغط الخارجى (من طبقات الصخور السفلية) .

وكرد فعل لهذا الاختلال فى الإتزان فإن الضغط الداخلى سوف يعمل على إعادة الطبقات السفلية - التى تقلص حجمها - إلى حجمها الأصلى الذى كانت عليه قبل زيادة الحمل مما يؤدى إلى تكوين مجموعة من الشقوق والفواصل موازية للسطح الخارجى للطبقات الصخرية مما يؤدى إلى عملية التقشر ويختلف سمك هذه القشور أو الصفائح Sheets من عدة سنتيمترات قرب السطح إلى عدة أمتار فى الأعماق .

٤- تأثير الغلاف الحيوى Biosphere effect :

ويتلخص تأثير الغلاف الحيوى فى كل من فعل النبات والحيوان والإنسان . وفيما يلى تفصيل لتأثير كل منهما :

أ) النبات :
عندما يمد النبات جذوره فى التربة أو الشقوق والفواصل الصخرية فإنه الحقيقة يزيد من اتساع تلك الشقوق والفواصل كما أن نمو الجذور يؤدى إلى نشوء قوى ضغط شديدة على الصخور فتعمل على تحطيمها .

ب) الحيوان :
إن الكثير من الحيوانات التى تتخذ من أديم الأرض مأوى لها تساهم إلى حد كبير فى عمليات التجوية الميكانيكية . فالحيوانات الحافرة Burrowing مثل ديدان الأرض والحيوانات القارضة Rodents كالأرانب والفئران وكذلك النمل الأبيض Termites تعمل على تفتيت المواد الصخرية وجعلها حطاما وفتاتا من السهل بعد ذلك نقلها بفعل عوامل المختلفة .

ج) الإنسان :
إن النشاط الإنسانى قد ساهم إلى حد كبير فى التجوية الميكانيكية فبناء المدن والمجتمعات السكانية وما يتبعها من شق الطرق قد أدى إلى إزالة ما يعترضه من تلال . كما أن أعمال المناجم والمحاجر وحفر الاتفاق قد أدى بالتبعية إلى إزالة الغطاء الصخرى فى سبيل الوصول إلى مواضع الطبقات الحاملة للخدمات.

– التجوية الطبيعية فى المناطق الجافة :

تتغطى منكشفات الصخور في المناطق الجافة بعد تجويتها بفتات مفكك يتكون من حبيبات يصل قطرها إلي عدة مليمترات وجلاميد يزيد قطرها عن المتر. ويعرف هذا التجمع غير المتصلد بالدبش rubble ، وهذا التجمع هو المقابل غير المتصلد للبريشيا breccia. ويعكس الاختلاف في حجم الكسرات الدرجات المختلفة للتجوية الطبيعية، ونمط تكسر الصخور الأصلية نتيجة لاستمرار التجوية الطبيعية، حيث تحدث شروخ في الكسرات الكبيرة، والتي تتكسر إلي كسرات أصغر، وقد تحدث بعض هذه الكسور على امتداد مستويات الضعف في الصخر الأصلي. وتتكون حبيبات الرمل عندما تتكسر وتنفصل بلورات المعادن المختلفة

عن بعضها البعض، كما في حالة معدن الكوارتز، أو عندما تتكسر الصخور دقيقة التحبب مثل البازلت. وحبيبات الصلصال هى أدق الحبيبات التي تتكون من التجوية الكيميائية للسيليكات.

ويظهرفي المناطق الجافة بعض علامات التجوية الكيميائية، مثل وجود الصلصال والفلسبار المتغيرة، ولكن السائد للتجوية في هذا المناخ هو التجوية الطبيعية. وعلى الرغم من أن التجوية الطبيعية هى التجوية الأكثر شيوعاً في المناطق الجافة، إلا أن التجوية الكيميائية تمهد الطريق لتقوم التجوية الطبيعية بهذا الدور. حيث تعمل التغيرات البسيطة في معدن الفلسبار وغيره من المعادن على إضعاف القوي التي تربط البلورات بعضها ببعض مما يؤدي إلي تكوين شروخ صغيرة، تتسع تدريجيا، ثم تنفصل بلورات الكولرتز أو الفلسبار نتيجة عمل كل من التجوية الطبيعية والكيميائية. وعندما تتسع هذه الكسور في الصخور ويزداد حجمها تنفصل كتل كبيرة من المنكشفات.

– التجوية الطبيعية فى باقي المناطق :

تساعد التجوية الكيميائية التجوية الطبيعية في القيام بدورها. وتقوم التجوية الطبيعية بذلك عندما يتخلل الماء والهواء شقوق وقنوات الصخور، ويتفاعلان مع معادن الصخر ممايؤدي إلي تكسير الصخر إلي قطع أصغر فتتعرض مساحة أكبر للتجوية، وتزيد بذلك سرعة التفاعلات الكيميائية.

ولا تعتمد التجوية الطبيعية دائما على التجوية الكيميائية، فهناك عمليات تتكسر فيها كتل الصخور التي لم يتم تجويتها، مثل تجمد الماء في الكسور. وتؤدي عمليات التكسير الناتجة عن القوى البنائية أثناء عمليات بناء الجبال، والتي ينتج عنها طي وتكسير الصخور، إلي جعل هذه الصخور أكثر عرضه للتجوية الطبيعية. ويعمل التكسير الطبيعي وحده على تجوية صخور القمر، حيث يغيب الماء الذي يجعل التجوية الكيميائية ممكنة. وتتكسر الصخور على القمر إلي جلاميد وغبار دقيق نتيجة ارتطام النيازك الكبيرة والصغيرة.

– العوامل التى تحدد طريقة تكسر الصخور:

تتكسر الصخور لأسباب عديدة منها الإجهاد (الضغط) على امتداد نطاقات الضعف الطبيعية والنشاط الحيوي (بيولوجي وكيميائي).

١– نطاقات الضعف الطبيعية :

تحتوي الصخور على نطاقات ضعف طبيعية تتكسر الصخور على امتدادها. فالصخور الرسوبية مثل الحجر الرملي والطفل تحتوي على هذه النطاقات ممثلة بمستويات التطبق المتكونة بين الطبقات المتعاقبة من الرواسب الصلبة. كما تحتوي الصخور المتحولة مثل الإردواز slate على أسطح متوازية من الكسور تسهل انفصالها عبر تلك الأسطح. وتتميز الصخور الجرانيتية، وبعض الصخور الأخرى بأنها كتلية – أي تتمون من كتل كبيرة لا يظهر عليها أي تغير في نوع الصخر تكسر أو انفصال منتظمة، وعلى مسافات تتراوح بين متر وعدة أمتار، يطلق عليها **فواصل joints** ، وهى أسطح تشقق طبيعية في الصخور لا يصاحبها أي زحزحة على جانبيها. وتتكون الفواصل والكسور غير المنتظمة في

الصخور وهى مازالت مدفونة في أعماق القشرة الأرضية. وتتسع هذه الكسور قليلا بسبب عمليات رفع الصخور تدريجيا إلي سطح الأرض وتجوية الصخور التي تغطيها، مما يؤدي إلي التخلص من وزن الصخور فوقها. وعندما تتسع تلك الكسور قليلا، فإن كلا من التجوية الكيميائية والطبيعية تعمل على زيادة اتساع هذه الشقوق.

وهناك نوع من الفواصل يتكون نتيجة زوال الضغط الواقع على الصخور. فعندما تتكشف الصخور الجرانيتية المكونة للباثوليث تدريجيا فوق سطح الأرض، نتيجة إزالة الوزن الكبير الواقع فوقها فيما يعرف بإزالة الحمل unloading فتتمدد الصخور الجرانيتية لأعلى وتتكون كسور تعرف بالفواصل الفريشية (الفواصل السطحية) sheet joints، وهى عبارة عن أسطح تمتد موازية لسطح الباثوليث.



تعرية الصخور الضعيفة

٢ – نشاط الكائنات الحية:

تؤثر الكائنات الحية، مثل: البكتريا وجذور الأشجار والحيونات الحفارة الآكلة للرواسب، على كل من التجوية الطبيعية والكيميائية ، حيث تعمل كلها على هدم الصخور وتنشيط التجوية الكيميائية، فالقوى الطبيعية لجذور الأشجار تعمل على توسيع الشقوق والكسور الموجودة في الصخور.

٣ – التوتد الصقيعي:

يعتبر التوتد الصقيعي frost wedging أحد أهم وسائل توسيع الشقوق الموجودة في الصخور، حيث تحدث كسور وتدية بسبب التمدد الناتج عن تجمد الماء. ويتمدد الماء بمقدار ١٠% عندما يتجمد. ويحدث هذه الزيادة في الحجم لأن الماء عندما يتجمد فإنه يعيد ترتيب جزيئاته في بنية بلورية مفتوحة، ويصحب هذا تولد قوى خارجية تكفي لتكسير الصخور حولها. ويحدث التوتد الصقيعي في أعالي الجبال، حيث توجد دورة يومية للتجمد والتدفئة.

وهنا تتعرض قطاعات صخرية للتهشيم، وقد تهوي مكونة أكواما كبيرة مخروطية الشكل أسفل المنحدرات تعرف بالركام talus أو ركام المنحدرات.

٤ – تبلور المعدن :

بالإضافة إلي العوامل السابقة، فإننا نلاحظ أنه يمكن أن تتولد قوى تمدد أخرى تؤدي إلي تشقق الصخور وانفصالها عندما تتبلور المعادن من المحاليل في كسور الشقوق أو على امتداد حدود الحبيبات. وتشيع هذه الظاهرة في المناطق الجافة ،

حيث تتبلور الموادالذائبة الناتجة عن التجوية الكيميائية للصخور عند تبخر المحاليل. وقد تكون القوى الناشئة عن بلورات الملح كبيرة جدا إلي درجة تؤدي إلي تفكيك أو تهشيم الصخور. وقد تحدث هذه الظاهرة أيضا عندما تنمو بلورات الملح أثناء تبخر المياه الجوفية الصاعدة بالخاصية الشعرية وترسب أملاحها الذائبة. وتعتبر كربونات الكالسيوم أكثر هذه المعادن شيوعا، كما تحتوي على الجبس وملح الطعام.

٥ – تعاقب الحرارة والبرودة (التمدد الحرارى):

تتكسر الصخور عندما يتعاقب النهار الحار والليل البارد في المناطق الصحراوية متطرفة المناخ، حيث تنخفض الحرارة من ٤٥م أو أكثر إلي ١٥م خلال ساعة واحدة عند الغروب. وقد يكون سبب تكسر الصخور هو ضعف الصخور بسبب تمددها بالحرارة أثناء النهار وانكماشها بالبرودة أثناء الليل.

٦ – القوى الأخرى :

تعمل الأنهار على شق الأودية عبر صخور الأساس، باستخدام الصخور المحمولة في الضرب المستمر على صخور المجرى، ثم الاندفاع بقوة عند مساقط المياه أي الشلالات waterfalls أو في الجنادل rapids (وهى مناطق في مجرى النهر يكون التيار فيها أسرع من الانحدار لا يكون كافيا لإحداث شلال). كما يتم تكسير الصخور بتأثير بري وهدم المثالج. وبالإضافة إلي ما سبق، فإن الأمواج التي تضرب الشواطيء الصخرية بقوة تعادل مئات الأطنان على كل متر مربع، تقوم بتكسير صخور الأساس المنكشفة أيضا.

المظاهر الناتجه من التجويه الميكانيكية (الفيزيائية) :

١- **التحطيم : (Abrasion)-**
هو عمل الرسوبيات او حبيبات الصخور ضد بعضها البعض (أي تقوم الرسوبيات من الصخور بتحطيم الصخور) وهذا العمل يكون غالبا في الأنهار.



2-الطمى(Alluvium) :
هي رواسب تم نقلها وترسيبها عن طريق المياه الجارية ، والطمي هو من الرسوبيات الحديثه ، بمعنى أخر تم تعريته من الصخور بشكل حديث وقد تم نقله عن طريق الأنهار من المناطق المرتفعة إلى أسفل النهر وقد تم سحقه و طحنع إلى حبيبات أنعم فأنعم عن طريق عملية التحطيم بواسطة الرسوبيات في كل مره ينقل فيها بالنهر . وهذه العمليه قد تاخذ ألاف السنين.



3-تجوية كلية للجلاميد (الصخور الكبيرة) :

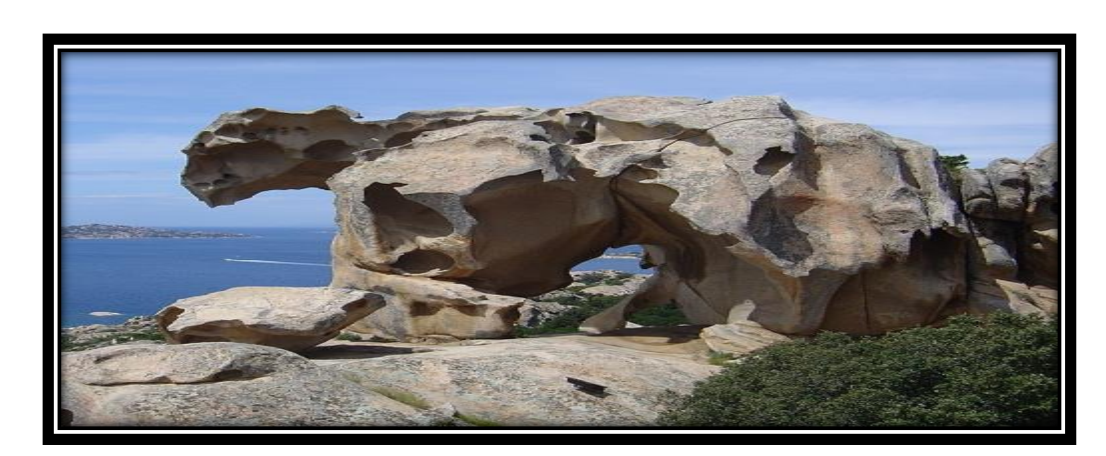
فيما يلي صورة لصخر جلمودي تعرض لعمل التجويه الفيزيائية أدى إلى تجزئته لكتل صخريه ، العامل الأساسي لهذا النوع من التجوية هو الحرارة حيث أن تبدل درجة الحرارة لليل والنهار

ووصولها إلى درجة التجمد أدى إلى تجمد المياه داخل الصخور وعمل التشققات التي نلاحظها وكلما زادت عمليات التجمد أدى إلى زيادة وتوسع في الكسور الموجوده بالصخر.



4-صخرة الدب:

نتيجة عمل التجوية المتكهفه أو تكهف التجوية وتبدا عندما يقوم الماء باحضار معادن منحلة إلى سطح الصخر ، وعندما يجف الماء فان هذه المعادن تجف وتتبلور على الصخر مشكلة حبيبات تقوم بتقشير على الصخر .وهذه الظاهر أكثر ما تنتشر على السواحل حيث أن مياه البحر تجلب الملح موجود فيها على سطح الصخر ، يجب أن لا نغفل عن نقطه مهمة وهي أن سطح هذه الصخور يكون أقسى من الطبقة الداخلية للصخر .وهذه القساوة هي التيشكلت هذا النوع من الصخر والا فان التجويه تعمل على الصخر بالتساوي.



5-الطمي الموضعي :

ذكرنا أن الطمي هو الذي يقوم النهر بنقله من المناطق العليا إلى أسفل النهر أما الطمي الموضعي هو الذي ينقل من أعلى التلال إلى أسفل المنحدر من التل دون مساعدة المياه الجاريه في النهر بل يكون عن طريق الجاذبية ، حيث يمكن أن ينجرف هذا الطمي بواسطة الأمطار ويهبط أسفل المنحدر ولكن لا ينجرف مع تيار الأنهار.



6-التقشير:

وهو عملية يتعرض لها الصخر حيث تقوم التجوية بتقشير رقيق أو ناعم لطبقة من الصخر عوضا عن تعريتها بالتحبب (بمعنى أخر تقوم التجوية بازالة قشرة رقيقة من الصخر بدل من أن تقوم بتشكيل حبيبات على سطح الصخر.



-7-الانتفاخ الصقيعي:

هو عمل فيزيائي من أعمال الصقيع حيث يترك ترسبات حبيبية حول التربة.



8-بواقى رسوبية:

هي شكل من اشكال التجوية ويكون في الغالب ذو حبيبات ناعمة وقد تجمعت مع بعضها وشكلت لنا تل من هذه الفضلات.



9-التجوية المتخللة :

هذا النوع من التجوية يحدث في الأحجار الرملية عند المناطق الساحلية ويترك الملح بلورات كريستالية على سطوح هذه الأحجار.



10-الصخر الدقيقى:

هو صخر ناعم يكون مثل البودرة وقد تفتت نتيجة نهر جليدي إلى أصغر أشكال ممكنه من الحبيبات.



11-الرذاذ الملحي:

تنتشر المياه المالحة في الهواء عن طريق تكسر الأمواج وهذا يؤدي إلى انتشار واسع إلى حدوث عملية التجوية المتخللة في المناطق التي قد لا تكون بالقرب من الشاطئ.



12 -ركام السفوح :

هو نتيجة عوامل التجوية الفيزيائية حيث حيث أن الركاميات من الصخور تتواجد في أسفل الجبال أو على قاعدة الجروف.



ـ العوامل التي تؤثر في التجوية :

من المعلوم أن كل الصخور قابلة للتجوية إلا أنها تتفاوت في طريقة وسرعة تجويتها، حيث تتجوى بعض الصخور بسرعة أكبر من الصخور الأخرى.

وتتحكم في عملية تفتيت الصخور وتغييرها كيميائيا أربعة عوامل رئيسية وهي:

١- خصائص (صفات) الصخر الأصلي.
٢-المناخ .
٣-وجود التربة أو عدم وجودها.
٤-الفترة الزمنية التي يتعرض فيها الصخر للعوامل الجوية.

ونعرض فيما يلي وصفا لكل من هذه العوامل :

أ ـ خصائص الصخر الأصلي :

تؤثر طبيعة الصخر الأصلي على معدل تجوية الصخور، وذلك يرجع أساسا إلي نوع المعدن، حيث تتم تجوية المعادن المختلفة بسرعات مختلفة. كما يؤثر تركيب الصخر على قابلية لتكوين الشروخ والكسور. وتقدم الحروف المنقوشة على شواهد القبور القديمة والمحفورة منذ عدة قرون أوضح دليل على أن تجوية الصخور تتم بسرعات مختلفة، فالحروف المنقوشة على شواهد القبور الحديثة تبدو واضحة على سطح الحجر الجيري وذات حدود حادة. أما بعد مئات السنين، وفي طقس ممطر فإنها تبدو باهتة، كما لو أن الحروف المنقوشة عليها قد أزيلت، مثلما تزال الكتابة من على قطعة الصابون بعد استعمالها عدة مرات. أما لوحات الإردواز والجرانيت فلا يظهر عليها إلا القليل من التغير . ويعكس الاختلاف في تجوية صخري الجرانيت والحجر الجيري الاختلاف في قابلية ذوبان solubility المعادن المكونة لهما في الماء. ومع ذلك، فإن الصخر المقاوم للتغير يمكن أن يتغير ويتحلل تحللا كاملاً إذا تعرض فترة كافية لعوامل التجوية. فالآثار الجرانيتية ستبدو الكتابة عليها باهتة وغير واضحة بعد عدة مئات من السنين، حيث تبدأ بلورات الفلسبارات في التآكل لتتحول إلي معادن جديدة، بينما يبقى معدن الكوارتز دون أي تغيير.

كما يؤثر تركيب الصخر structure أيضا في التجوية الطبيعية. فقد بقيت الآثار الفرعونية القديمة المصنوعة من الجرانيت سليمة وغير مكسرة أو مشرخة لعدة قرون بعد تشييدها، بينما على العكس من ذلك، قد يتكسر الصخر المكون من الطفل، وهو صخر رسوبي، بسهولة على امتداد مستويات التطبق إلي قطع صغيرة.

ب ـ المناخ: هطول المطر ودرجات الحرارة :

يتحكم المناخ بدرجة كبيرة في معدل التجوية الكيميائية. ويؤثر هطول الأمطار (رطوبة الجو) وتغير درجة الحرارة على سرعة التجوية، حيث تعمل الحرارة والرطوبة المرتفعة على تنشيط التفاعلات الكيميائية. ولذلك فإنه ليس من المستغرب أن تكون التجوية أشد قوة وتعمل على أعماق أكبر في الأرض، في مناطق المناخ الدافيء الرطب عنها في مناطق المناخ الجاف البارد. ففي المناطق الاستوائية الرطبة مثل وسط أمريكا وجنوب شرق آسيا تبدو التجوية

الكيميائية واضحة، بينما في المناطق الباردة الجافة مثل شمال جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) تكون التجوية الكيميائية بطيئة جداً. وعلى العكس من ذلك، فإن التجوية الطبيعية تكون واضحة في تلك المناطق الباردة الجافة نتيجة تأثير الصقيع، حيث يكسي سطح الأرض بأكوام من الحجارة المزاحة.

ويظهر تأثير المناخ climate في الاختلاف الواضح في نواتج تجوية الصخور الكربوناتية. فالصخور الجيرية التي تتكون من معدن الكالسيت القابل للذوبان بسهولة مثل الحجر الجيري والرخام، تكون سريعة التأثر بالتجوية الكيميائية في المناخ الرطب، مما يؤدي إلي تكوين معالم طربوغرافية منخفضة ولطيفة الانحدار. أما في المناخ الجاف، فإن هذه الصخور تكون طوبوغرافية حادة، عبارة عن جروف (الجرف منحدر صخري شديد) ، حيث تؤدي ندرة المطر وشح الغطاء النباتي إلي قلة حامض الكربونيك القادر على إذابة المعادن الكربوناتية.

ج – وجود أو عدم وجود التربة:

تعتبر التربة أحد أهم المصادر الطبيعية المهمة لأي دولة. وتتكون التربة soil من كسرات من صخر الأساس bedrock (الصخر الصلد المتصل والموجود تحت الرواسب المتراكمة غير المتصلدة) ومعادن الصلصال المتكونة من تغيير معادن صخر الأساس والمادة العضوية الناتجة من الكائنات العضوية التي تعيش فيها. وعلى الرغم من ان التربة تنتج من عملية التجوية، إلا أن وجودها أو عدم وجودها يؤثر على التجوية الفيزيائية والكيميائية للمواد الأخرى، فالمعدن الموجود في تربة وادي منخفض مغطى بالتربة يتحلل أسرع، مما إذا وجد في جرف قريب لا يغطيه أي نوع من التربة، حيث تحمل الأمطار الحبيبات المفككة إلي مناطق منخفضة يمكن أن تتراكم فيها تلك الحبيبات.

وتتكون التربة نتيجة عملية استرجاع موجبة، أي إن التربة وهى ناتج عملية التجوية تساعد في تقدم التجوية. فبمجرد أن تبدأ التربة في التكون، فإنها تدخل كأحد العوامل الجيولوجية التي تعمل على تجوية الصخور بسرعة أكبر. وتحتفظ التربة بمياه الأمطار وأنواع مختلفة من النباتات، والكثير من البكتريا والكائنات الحية

الأخرى، التي تعمل على تكوين بيئة حامضية تنشط التجوية الكيميائية، وهى تعمل على تغيير وإذابة المعادن، كما تساعد جذور النباتات والكائنات الحية المتحركة خلال التربة على التجوية الطبيعية والكيميائية بدورهما على إنتاج المزيد من التربة.

د – الزمن: فترة التعرض :

من الطبيعي أنه كلما كانت الفترة الزمنية التي تتعرض فيها الصخور للتجوية أطول، زادت نسبة تغيرها وإذابتها وتكسرها. فالصخور التي انكشفت على سطح الأرض لعدة آلاف من السنين يتكون فوقها لحاء (قشرة)، وهى طبقة خارجية من المواد الناتجة من التجوية يتراوح سمكها بين عدة ميلليمترات وعدة سنتيمترات، وتحيط بالصخر الذي لم يتغير أو يتجوي. وتتكون هذه اللحاءات ببطء يصل إلي ٠,٠٠٦مم كل ألف سنة في المناخ الجاف، بينما تكون فترة تعرض اللابات ورواسب الرماد البركاني المنبثق حديثا من البراكين على سطح الأرض قصيرة جدا، ولذلك تكون تقريبا غير مجواة.

ويؤثر مجموع العوامل السابقة في تحديد نوع ومعدل تجوية الصخور في أي منطقة. ويوجد عموما بعض الاختلاف والتباين في تجوية الصخور، حتى على مستوى منطقة صغيرة نسبيا من الأرض. والتجوية المتفاوتة differential weathering هى تجوية الصخور المنكشفة على سطح الأرض بمعدلات مختلفة أو غير منتظمة، بسبب الاختلاف في صلابة ومقاومة مواد السطح. وتتآكل الصخور الأقل صلابة ومقاومة بمعدلات أسرع، في حين تظل الصخور الأصلب بارزة وناتئة. وتؤدي التجوية المتفاوتة والتعرية اللاحقة لها إلي تكون عديد من الأشكال والمعالم الأرضية، مثل الجسور الطبيعية natural bridges الموجودة في يوتا بالولايات المتحدة الأمريكية. كما تشمل تلك المعالم الأرضية أيضا حقول الجلاميد boulder fields ، وهى مساحات واسعة جدا عادة ومسطحة تنتشر عليها الجلاميد المستديرة. ويعزي وجود هذه الجلاميد إلي التجوية الكيميائية، إذ إن معظم الصخور تحمل درنات صخرية concretions مختلفة الأحجام من مادة مختلفة عن الصخور (عادة من الصوان) تكون أكثر صلادة من الحجر الجيري. وعند تعرض الصخر الأصلي للتجوية الكيميائية نتيجة لتأثير المياه الجوفية أو مياه الأمطار، فإن المكونات الجيرية تذوب بمعدل أسرع من معدل ذوبان الدرنات التي قد لا تستجيب للتجوية الكيميائية. وبذلك يتآكل الصخر الأصلي مخلفا وراءه كميات كبيرة من الدرنات المختلفة الحجم. ومن أمثلة ذلك حقول الجلاميد الموجودة في شمال الواحات البحرية، وتلك الموجودة على طريق أسيوط – الخارجة بالصحراء الغربية المصرية . كما تشمل تلك المعالم الأرضية أيضا ما يسمى بصخور عيش الغراب (موائد الشيطان) mushroom rocks ، وهى تنتج عندما توجد طبقة من

صخر صلد تعلو طبقة أخرى من صخر أقل صلادة، فتتآكل الطبقة السفلى بمعدل أسرع بفعل الرياح من معدل تآكل الطبقة العليا. وخير مثال على تلك الموائد ما يوجد منها في الصحراء البيضاء white desert في شمال واحة الفرفرة بالصحراء الغربية المصرية، حيث تؤدي التجوية المتفاوتة لصخور الطباشير إلي تكوين تلك الموائد .

– التربة: راسب متبق من التجوية (نواتج التجوية):

إن كل المواد التي تكت تجويتها لا يتم تعريتها وحملها في الحال بعيدا بواسطة المجاري المائية أو عوامل النقل الأخرى، فقد تبقى على المنحدرات المعتدلة أو لطيفة الميل والسهول والأراضي منخفضة التضاريس طبقية تغطي صخر الأساس مكونة من المواد المفككة وغير المتجانسة الناتجة من التجوية. وقد تشمل هذه الطبقة حبيبات من الصخر الأصلي التي تمت تجويتها أو لم يتم تجويتها، ومعادن الصلصال وأكاسيد الحديد وأكاسيد فلزات أخرى، ونواتج التجوية الأخرى.

ويطلق المهندسون على كل هذه الطبقة مصطلح "تربة". ومع ذلك يفضل الجيولوجيون تسمية هذه المادة بالحطام الصخري (الأديم) regolith، ويقصرون مصطلح تربة soil على الطبقات العليا من الحطام الصخري، والتي تحتوي على مواد مفككة مجواة فوق صخر الأساس bedrock وتحتوي على المواد العضوية التي تساعد الحياة النباتية وتعضدها. ويمكن بسهولة تعرف الفرق بين الحطام الصخري والتربة، إذا أخذنا في الاعتبار الحطام الصخري فوق سطح القمر. ويتكون الحطام الصخري فوق سطح القمر من طبقة مفككة من الصخور المكسرة والغبار، إلا أنه تنعدم به الحياة. فقد يحتوي على القليل من المواد العضوية أو قد لا يحتوي عليها على الإطلاق. أما المادة العضوية في تربة الأرض فهى الدوبال humus وهى بقايا

ونفايات النباتات، والحيونات والبكتريا التي تعيش فيها. ويساهم ركام أوراق النبات بنسبة مهمة في تربة الغابات.

وتختلف ألوان التربة من الأحمر اللامع والبني، والمميز للتربة الغنية في الحديد، إلي الأسود والمميز للتربة الغنية في المواد العضوية. كما تختلف التربة أيضا في مادتها، فقد تمتليء بعض التربة بالحصى والرمل. بينما يتكون بعضها الاخر كلية من الصلصال. ولا تتكون التربة على المنحدرات شديدة الميل نظراً لسهولة تعرية التربة، كما أنها لا تتكون على الارتفاعات العالية بسبب المناخ القارس الذي يمنع النباتات.

ونظراً لأن التربة تمثل جزءا أساسيا من أجزاء البيئة، كما تلعب دورا مهما في الاقتصاد أيضا، فقد تطورت دراسة التربة في القرن العشرين وأصبح لها علم مستقل هو علم التربة pedology (soil science) . ويقوم علماء التربة

والمهندسون الزراعيون والجيولوجيون والمهندسون المدنيون بدراسة تركيب وأصل التربة، ومدى صلاحيتها للزراعة والإنشاءات وأهميتها في تعرف الظروف المناخية التي كانت سائدة في الماضي. وتركيز معظم الدراسات الحديثة على الطرق التي يمكن بها مقاومة تعرية التربة soil erosion.

ليست التجوية بنوعيها الفيزيائى والكيمائى ظاهرة جيولوجية فحسب بل أنها ذات أهمية قصوى للحياة البشرية إقتصاديا وحياتيا فلو ظلت الصخور منذ نشأتها على حالها كما هى لما كونت التربة ولما صلحت للزراعة وكانت أقرب ما تكون إلى صخور القمر والمريخ ..

ومن أهم نواتج التجوية :

- التربة - اللاتيريت والبوكسيت - ركام السفوح - حقول الجلاميد :

أ- التربة Soil :

على الرغم من أن التربة مصطلح عام يقصد به الطبقة السطحية من أديم الأرض والناتج من حصيلة عمليات التجوية إلا أنه فى نفس الوقت هناك أكثر من تعريف لها ومن تلك التعريفات أنها الطبقة السطحية المفككة التى تمثل الوشاح الصخرى ولا يتعدى سمكها عدة مترات وتتكون من خليط من معادن مختلفة قد نتجت من تجوية المكونات الصخرية بالإضافة إلى الدبال Humus وهو المواد العضوية المتراكمة نتيجة الأنشطة الزراعية .

ومهما كان من أمر تعدد التعريفات بشأن التربة فإن من المتفق عليه أنه توجد خمسة عوامل تتحكم فى تكونها وهذه العوامل هى :

١- الصخر الأم :

وخاصة فيما يتعلق بالمحتوى المعدنى والعناصر الداخلة فى هذا المحتوى ومن الثابت أن التربة تدين ببعض خصائصها إلى الصخر الأم الذى اشتقت منه مكونات التربة وعلى سبيل المثال فهناك تربة جيرية وتربة رملية وتربة حصوية ... الخ .

٢- المناخ :

وهو من أهم عوامل تكوين التربة باعتبار أنه يتحكم فى نوع وشدة عمليات التجوية المختلفة . كما يؤثر على نوع وكمية الكائنات العضوية فى التربة وبالتالى يتحكم فى سرعة تحللها . ليس هذا فحسب بل قد ثبت وجود علاقة بين تكوين بعض المعادن الطينية والظروف المناخية فى الأقاليم المختلفة فعلى سبيل المثال فإن كميات أكاسيد الحديد والألومنيوم المائية تزداد فى وجود الأمطار الغزيرة التى تعمل على إزالة السيليكا من التربة الأمر الذى يؤدى إلى تكوين التربة الحمراء لوجود كميات كبيرة من أكاسيد الحديد وتعرف هذه التربة باسم اللاتيريت Laterite .

٣- الكائنات الحية :

وتشمل كلا من الغطاء النباتى والمواد العضوية مثل الدبال Humus والبكتريا Bacteria والأحماض العضويةAcids Organic ويعتقد الكثيرون من علماء التربة أن عمليات تكون التربة لا تبدأ إلا عندما يتدخل النشاط العضوى بين الصخر الأم والبيئة المحيطة به . وتتحكم نوعية النباتات فى سمك المواد العضوية وعلى سبيل المثال فإن الأقاليم الاستوائية التى تتميز بالغابات الكثيفة تكون تربتها ذات سمك قليل من المواد العضوية الدبالية على عكس المناطق العشبية التى تتميز بسمك كبير من المواد العضوية هذا العضوية هذا الإضافة إلى تدخل النشاط البشرى سواء فى إزالة الغابات أو إضافة أراضى زراعية جديدة .

٤- الوضع الطبوغرافى :

يتحكم الوضع الطبوغرافى للتربة إلى حد كبير فى خصائصها فالسفوح الشديدة الانحدار لا تصل التربة فيها إلى مرحلة النضج لأن عوامل النقل المختلفة تزيل مخلفات التجوية أولا بأول فتتكون فى هذه الحالة تربة ناقصة قد أزيل منها نطاق أو نطاقين علويين . كما يؤثر الوضع الطبوغرافى أيضا على درجة التصريف وموضع وشكل مستوى المياه الباطنية . وللدلالة على أهمية الوضع الطبوغرافى فإن السهول والمناطق القليلة الانحدار تتميز بوجود تربة سميكة إذ أن الميل البسيط لهذه المناطق يجعلها تستقبل الرسوبيات والفتات الصخرى المنقول الذى سبق تجويته .

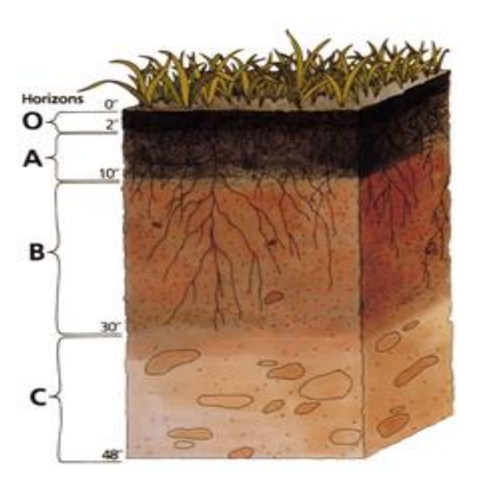
٥- الزمن :

والمقصود به هنا الفترة الزمنية التى استغرقها عمليات تكوين التربة . وبطبيعة الحال فإن الزمن يتحكم فى سمك ودرجة نضج نطاقات التربة باعتبار أن عمليات التجوية ترتبط ارتباطا وثيقا بالزمن .

أ – قطاع التربة :

يستغرق تكوين التربة زمنا طويلا يصل إلي مئات أو آلاف السنين. ويعتمد تكوين التربة على كمية الأمطار المتساقطة ودرجات الحرارة، وأيضا نوع صخر الأساس الذي يجوي ويكون التربة، حيث تزيد درجات الحرارة العالية والرطوبة المرتفعة من سرعة تكون التربة. وعندما تنضج التربة تظهر طبقات متميزة من التربة يطلق عليها نطاقات التربة soil horizons.
ويطلق على الطبقات أو النطاقات التي تشملها التربة مصطلح قطاع التربة soil profile .
وتتميز كل طبقة من هذه الطبقات بخواصها اللونية والتركيب الكيميائي، ويكون الانتقال من أي من هذه النطاقات إلي الآخر غير واضح عادة.

وفيما يلى استعراض لنطاقات التربة الثلاثة:



يتشابه لون طبقات التربة في بعض المناطق بحيث تكون طبقات التربة العلوية داكنة اللون، أما طبقات التربة التي تلي الطبقة السطحية فيكون لونها مائل للاحمرار.

• نطاق –أ (A-horizon) أو النطاق العلوى (نطاق الغسل)

وهو يمثل أعلى طبقة في قطاع التربة، ولا يزيد سمكها عن متر أو مترين، وتكون أغمق الطبقات لونا، حيث تحتوي على أعلى نسبة من المادة العضوية. وتكون هذه الطبقة العلوية سميكة في التربة التي امتد تكوينها على مدي زمني طويل، وتتكون من مكونات غير عضوية معظمها معادن صلصال ومعادن غير قابلة للذوبان مثل الكوارتز. أما المعادن الذائبة فقد غسلت وأزيلت من هذه التربة.

• نطاق –ب (B-horizon) او النطاق الأوسط (نطاق التراكم)

وتكون المادة العضوية في هذه الطبقة ضئيلة ومتفرقة، بينما تتراكم فيها المعادن الذائبة وأكاسيد الحديد في هيئة عدسات أو تغلف الحبيبات من الخارج.

• نطاق ج C-horizon)) أو النطاق السفلى

ويتكون من الفتات الصخري الناشيء عن تكسر صخر الأساس، والذي تغير جزئيا واختلط بالصلصال الناتج عن التجوية الكيميائية للصخور.

وتوصف التربة بأنها لإما تربة متبقية وإما تربة منقولة. و تنشأ التربة المتبقية residual soil من صخر الأساس ولم تنقل من موضع تكوينها، وتشمل النطاقات الثلاث المميزة للتربة. ومعظم التربة تكون من نوع التربة المتبقية. وحين تعمل التجوية بقوة، تتكون التربة بسرعة أكبر، وتصبح أكبر سمكا. وتحدث معظم التجوية الكيميائية فقط خلال فترات سقوط المطر القصيرة. وتستمر التفاعلات خلال فترات الجفاف ببطء شديد، بسبب وجود بعض الرطوبة المتبقية في التربة. وعندما تجف التربة تماما بين فترات سقوط الأمطار، فإن التجوية الكيميائية تتوقف تماما تقريبا.

وقد تتراكم التربة المنقولة transported soil في بعض المناطق المحدودة من الأراضي المنخفضة، وذلك بعد تعرية تلك التربة من المنحدرات المحيطة وحملها أسفل تلك المنحدرات. والتربة المنقولة شائعة، ويمكن أن تختلط مع الرواسب العادية التي تكونها الأنهار و الرياح والجليد. ويمكن تمييز هذه التربة من تركيبها ونسيجها اللذين يكونان أقرب إلي خواص التربة منها للرواسب العادية. وفي بعض الحالات تكون بعض الأجزاء العليا من قطاع التربة الأصلي موجودا. ويرجع سمك هذه التربة إلي الترسيب أكثر من التجوية المتواجدة في المنطقة المنقولة إليها التربة.

ب – المناخ والزمان وأنواع التربة :

يؤثر المناخ بقوة على عملية التجوية، ولذلك فإن له تأثيرا كبيرا على خصائص التربة المتكونة فوق أي صخر. فمثلا، تختلف خصائص التربة في المناطق الدافئة والرطبة عن تلك المتكونة في المناطق الجافة والمعتدلة. وحيث إن التربة مهمة جدا للزراعة، لذلك فقد تم إعداد خرائط لخصائص التربة في معظم أنحاء العالم. ولقد أدي هذا إلي مستوي تفصيلي من الخرائط لاستخدامها في منع تجوية التربة وتشجيع الزراعة. ويمكن تمييز ثلاث مجموعات رئيسية من التربة على أساس تركيبها المعدني والكيميائي، الذي يمكن مضاهاته بالمناخ، أي إن خصائص كل نوع من التربة تعكس الظروف المناخية السائدة وقت تكونها.

١ - المناخ الرطب: اللاتيريت :

اللاتيريت: تكون التجوية سريعة وشديدة في المناخات الدافئة والرطبة، حيث تصبح التربة سميكة. وكلما ارتفعت درجة الحرارة وزادت الرطوبة، كان الغطاء النباتي أكثر انتشارا وازدهارا. وتزيد وفرة النباتات والرطوبة والمناخ الدافيء من سرعة التجوية الكيميائية بقوة، حيث تغسل كل المعادن القابلة للذوبان وسهلة التجوية من الطبقة العليا من التربة. ويطلق على الراسب المتبقي من هذه التجوية السريعة مصطلح لاتيريت laterite، وهو تربة لونها أحمر داكن حيث تم تغيير

الفلسبار والسيليكات الأخرى تماما بينما تتبقي معظم أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألومنيوم . وعلى الرغم من أن هذه التربة تساعد الحياة النباتية المزدهرة في الغابات الاستوائية، إلا أنها تكون غير منتجة لنباتات المحاصيل بدرجة كبيرة. وتعاد دورة معظم المادة العضوية باستمرار من السطح إلي النباتات، مع وجود طبقة رقيقة جدا من الدوبال على سطح التربة في أحسن الأحوال. ويؤدي التخلص من الأشجار وحرث التربة إلي أكسدة الطبقة السطحية الغنية بالدوبال بسرعة واختفائها، حيث تظهر الطبقة غير الخصبة التي تسلفها.

٢ ـ المناخ الجاف : البيدوكال :

إن التربة في المناطق الجافة تكون رقيقة، بسبب نقص المياه وغياب الغطاء النباتي، مما يعوق التجوية. وفي المناطق الجافة الباردة، حيث تكون التجوية الكيميائية بطيئة جدا، فإن تأثير الصخر الأصلي يكون هو العامل السائد، حتي ولو تم تكوين التربة على مدي زمني طويل. ونتيجة لذلك، يحتوي النطاق –أ على الكثير من معادن وكسرات الصخر الأصلي التي لم يتم تجويتها. وعندما تكون الأمطار ضئيلة جدا لكي تذيب كميات معقولة من المعادن القابلة للذوبان، فتبقي هذه المعادن في نطاق –أ.

والبيدوكال pedocal هي التربة المنتشرة في المناطق الجافة. وهى نوع من التربة يكون فقيرا في المادة العضوية، بينما يكون غنيا في الكالسيوم الناتج من كربونات الكالسيوم، بالإضافة إلي معادن أخرى قابلة للذوبان. وقد اشتق مصطلح البيدوكال من الكلمة اليونانية pedon بمعنى تربة، بالإضافة إلي الحروف الثلاثة الأولى من كلمة calcite وهو معدن الكالسيت المكون من كربونات الكالسيوم. وفي مثل هذا المناخ وبين فترات سقوط الأمطار، فإن الكثير من ماء التربة يسحب إلي قرب السطح ويتبخر، تاركا عقيدات مترسبة وكرات صغيرة من كربونات الكالسيوم، غالبا في الطبقة الوسطي من التربة. وتربة البيدوكال لا تكون خصبة مثل تربة البيدالفير، حيث إن التركيب المعدني و الجفاف لا يسمحان بوجود نسبة عالية من الكائنات الحية في التربة. وقد وجد علماء التربة أن الأتربة التي تحملها الرياح يمكن أن تساهم أيضا في تراكم الأملاح في تربة المناطق الجافة، حيث كونت الكربونات طبقة صلبة غير منفذة في قطاع التربة في منطقة شاسعة جنوب غرب الولايات المتحدة، تتكون من كربونات الكالسيوم البيضاء المعروفة بالكاليش (قشرة كلسية) caliche.

٣ ـ المناخ المعتدل: البيدالفير :

تعتمد خصائص التربة في المناطق المعتدلة في سقوط الأمطار ودرجات الحرارة، كما تعتمد أيضا على المناخ السائد وعلى نوعية الصخر الأصلي وطول المدة اللازمة لتكون التربة وزيادة سمكها. وتقلل التجوية الشديدة وكذلك مدة التعرض من تأثير الصخر الأصلي. لذلك فقد تختلف كثيرا التربة المتكونة فوق صخر أساس جرانيتي بعد وقت قصير وفي مناخ معتدل الحرارة والرطوبة عن التربة المتكونة على صخر حجر جيري تحت نفس الظروف. فقد تظل تحتفظ التربة المتكونة فوق الجرانيت ببقايا من معادن السيليكات، والتي يغلب عليها معادن الصلصال المتكونة من الفلسبار، والتي تمثل المكون الرئيسي للصخر الأصلي. أما التربة المتكونة فوق الحجر الجيري فقد تظل تحتفظ بقليل من بقايا كربونات الكالسيوم، إلا أن معظم فتات الحجر الجيري يذوب بسهولة. أما معادن الصلصال فإنها تمثل أساسا الشوائب الموجودة في الحجر الجيري الأصلي.ومع هذا فإن الفرق بين هاتين التربتين قد يتضاءل أو حتى يختفي بعد عديد من آلاف السنين. وقد تتكون هاتان التربتان من معادن الصلصال نفسها اعتمادا على طبيعة المناخ، بعد أن فقد كلاهما كل المعادن القابلة للذوبان من الطبقات العليا.

وقد اشتق اسم البيدالفير pedalfer من الكلمة اليونانية pedon وتعني "تربة" و "al" و"fe" من الرمز الكيميائي للألومنيوم (Al) والحديد (Fe). وتحتوي الطبقات العليا والمتوسطة من البيدالفير على وفرة من المعادن غير القابلة للذوبان مثل الكوارتز ومعادن الصلصال ونواتج

تغير الحديد. أما معادن الكربونات والمعادن الأخرى القابلة للذوبان فإنها تختفي . وتعتبر البيدالفير تربة صالح للزراعة.

وكما يتضح مما سبق أن تقسيم التربة يتم طبقا للخواص الفيزيائية والكيميائية بطريقة تشابه كثيرا الطريقة المستخدمة في تقسيم الصخور. ويتم اعتمادا على هذه التصنيفات رسم الخرائط ودراسة وفهم توزيع التربة، وكذلك العوامل التي ساعدت في تكوينها مما يساعد على الاستخدام الأمثل لهذه التربة. وتصنف التربة الان في الولايات المتحدة الأمريكية طبقا لتصنيف قياسي إلي عشر مجموعات، تحتوي كل مجموعة منها على أقسام يسهل تعرفها. ويلاحظ أن المصطلحات المستخدمة في وصف أقسام التربة إلي لاتيريت وبيدالفير وبيدوكال ليست سهلة، كما أن هذا التصنيف لا يأخذ في الاعتبار الاختلافات في صخور الأساس.

ج ـ التربة القديمة : كدليل على المناخ في الأزمنة القديمة:

لقد تزايد الاهتمام في العصر الحاضر بالتربة القديمة، والتي حفظت كصخور في السجل الجيولوجي، ويبلغ عمر بعضها بليون سنة. وتعرف التربة القديمة paleosol بأنها تربة تكونت عند سطح الأرض ثم دفنت وحفظت فيما بعد، ويعتبر سطحها العلوي سطح عدم توافق unconformity أي انقطاع مؤقت في الترسيب أو سطح تجوية. ويتم دراسة هذا النوع من التربة للاستدلال على المناخات القديمة، أو لتحديد نسبة ثاني أكسيد الكربون والأكسجين في الغلاف الجوي في الأزمنة القديمة. وتستنتج هذه الأدلة من التربة القديمة التي يبلغ عمرها ملايين السنين من خلال دراسة تركيبها المعدني، حيث يستدل على عدم وجود أكسدة للتربة في هذه المرحلة المبكرة من تاريخ الأرض، وبالتالي لم ينطلق الأكسجين ليصبح جزءا رئيسيا من الغلاف الجوي خلال تلك المرحلة المبكرة من تاريخ الأرض. كما تستخدم التربة القديمة لتقسيم ومضاهاة التتابعات الرسوبية. كما تستخدم أيضا كأدلة لاستنتاج المعالم التضاريسية ونوع الغطاء النباتي.

ـ الرواسب المعدنية المتكونة بالتجوية :

قد تؤدي التجوية الكيميائية إلي تكون رواسب معدنية ذات قيمة اقتصادية نتيجة إزالة المعادن الذائبة وتركيز المعادن الأقل ذوبانا.

وفيما يلي استعراض لبعض أهم تلك الرواسب الاقتصادية:

أ ـ الإثراء الثانوي :

تعرف عمليات تجوية الراسب المعدني كيميائيا والتي تؤدي إلي رفع نسبة المحتوي الفلزي في جزء من الراسب نتيجة إزالة المعادن الذائبة وتركيز الفلزات الأكثر ذوباناً بالغثراء الثانوي secondary enrichment. وقد تكونت بعض الرواسب الاقتصادية المهمة للحديد والمنجنيز والنيكل والنحاس في العالم عن طريق الإثراء الثانوي.

رواسب اللاتيريت: اللاتيريت laterites هومثال لتركيز المعادن بالتجوية. والمواد الأولية في اللاتيريت هى الصخور العادية التي تحتوي على عناصر الحديد والألومنيوم التي يتم تركيزها فيما بعد. والليمونيت هو أحد المعادن قليلة الذوبان المتكونة خلال عملية التجوية الكيميائية.

وفي المناخ الحار الممطر بغزارة(مناخ استوائي) يتم غسل معظم المعادن ببطء من التربة، بحيث يختلف عند السطح قشرة من الليمونيت الغني بالحديد غير القابل للذوبان. وقد يكون اللاتيريت غنيا بالحديد لدرجة أنه يمكن استغلاله اقتصاديا.

رواسب البوكسيت:وقد تسبب تجوية السيليكات تكون مواد أخرى غير معادن الطين، مثل البوكسيت bauxite وهو خام متكون من أكاسيد الألومنيوم المائية. وهو أحد الخامات المهمة لفلز الألومنيوم. ويتكون عندما تذاب كل السيليكا والأيونات الأخرى عدا الألومنيوم الناتجة عن تجوية كل معادن الصلصال الناتجة عن تجوية السيليكات. ويتواجد البوكسيت في المناطق الاستوائية، حيث يكون المطر غزيرا ودرجة الحرارة عالية والتجوية شديدة.

اللاتيريت والبوكسيت Bauxite & Laterite :

وهما مادتان طبيعيتان يختلفان فى المحتوى الكيميائى بينما يتفقان فى النشأة باعتبارهما من نواتج التجوية الشديدة فى نفس المناطق . إلا أنهما يختلفان فى نوعية الصخور التى اشتقت منهما .

فاللاتيريت مادة حمراء أو تميل للاحمرار وهى غنية بأكاسيد الحديد وقد استخدمت هذه المادة قديما فى صناعة القرميد المستخدم فى البناء ومن هنا جاءت التسمية اللاتيريت من الكلمة اللآتينية Later بمعنى قرميد .

وينشأ اللاتيريت من جراء التجوية الشديدة فى الأقاليم الاستوائية وشبه الاستوائية Sub-Tropical نتيجة لتجوية الصخور النارية القاعدية الغنية عادة بعنصرى الحديد والمغنسيوم حيث يتكون اللاتيريت عادة من نسب مختلفة من أكاسيد الحديد المائية وهيدروكسيد الألومنيوم وقد يوجد أكاسيد المنجنيز والتيتانيوم والسيليكا غير المتبلورة . حيث أن العامل الأساسى لهذا المناخ فى تلك الأقاليم هو التجوية الكيميائية

وفى نفس الظروف المناخية تتم تجوية الصخور النارية الحمضية الغنية بأكسيد السيليكون والألومنيوم لينتج البوكسيت الذى يتكون بصفة أساسية من أكاسيد الألومنيوم المائية وقد اشتق الأسم من مدينة بو Baux الفرنسية حيث تم التعرف عليه لأول مرة .

وعلى الرغم من أن كلا من اللاتيريت والبوكسيت . يصنعان عادة من الصخور إلا أنهما ذوا أهمية خاصة على المستوى الإقتصادى فالبوكسيت هو الخام الرئيسى للألومنيوم بينما يستخدم اللآتيريت كأحد مصادر الحديد. بالإضافة إلى كونه أيضا كمصدر ثانوى لكل من عنصرى النيكل والكوبلت اللذين يتلازمان فى الصخور النارية القاعدية .

- ركام السفوح Scree :

وهو الحطام والفتات الصخرى الناتج من تأثير عوامل التجوية الطبيعية سواء أكان هذا التأثير من اختلاف درجات الحرارة أو من تأثير تجمد المياه فى الفواصل والشقوق الصخرية وسرعان ما ينزلق هذا الحطام بفعل الجاذبية إلى أسفل التلال والجبال مكونا ما يسمى بركام السفوح ويتميز بكونه عبارة عن قطع صخرية غير منتظمة الشكل ، متفاوتة فى أحجامها ذات حواف مدببة .

- حقول الجلاميد Boulder Fields :
والجلاميد عادة عبارة عن درنات كروية أو شبه كروية ذات أحجام مختلفة ، وتعتبر التجوية الكيميائية سببا مباشرا فى ظهور حقول الجلاميد ، إذ أن الصخور الجيرية عادة ما تحوى بداخلها درنات سيليسية ، والذى يحدث أن الصخور الجيرية تذوب بفعل حمض الكربونيك تاركة وراءها هذه الدرنات السيليسية التى لا يؤثر فيها هذا الحمض .

ب - تركيز الماس :
الماس أكثر معدن معروف على الأرض من حيث الصلادة، وهو أيضا معدن مقاوم للتجوية للغاية. وترجع صلادته الشديدة إلي الرابطة التساهمية القوية التي تربط ذرات الكربون. ويتواجد الماس عند سطح الأرض في أنابيب الماس diamond pipes، وهى أعمدة من صخر فوقمافي متكسر، صعدت من الوشاح العلوي للأرض، تحتوي على بلورات الماس الموزعة بعيدا عن بعضها البعض. وعندما تحدث التجوية المتفاوتة للصخور فوقالمافية عند سطح الأرض ويتم تعريتها، ونظرا لمقاومة بلورات الماس للتجوية، فإنها تبقي ويتم تركيزها في رواسب غنية بالماس عند قمة تلك الأنابيب. وقد تعيد الأنهار توزيع وتركيز الماس، كما هو الحال في جنوب إفريقيا. وفي كندا، فإن أنابيب الماس يتم تعريتها بالمثالج حيث يتواجد الماس مبعثرا في رواسب تلك المثالج.

- الإنسان كعامل من عوامل التجوية :

يعتبر الإنسان جزءا من البيئة. فالإنسان هو المسئول عن الأمطار الحمضية، والتي تنشط عملية التجوية الكيميائية للآثار القديمة بطريقة ملحوظة، كما تعمل على تجوية المنكشفات الصخرية أيضا ولكن بطريقة غير محسوسة. وحيث إن التجوية الفيزيائية تساعد التجوية الكيميائية، فإن دور الإنسان يدخل كعنصر مساعد لكلتا العمليتين من خلال عديد من النشاطات التي تؤدي إلي تكسر الصخور أثناء حفر الأساسات وإنشاء الطرق السريعة وعمليات حفر المناجم. ولقد قدر أن نشاط إنشاء الطرق وحده في العالم يسبب تحريك ٣٠٠٠ تريليون طن من الصخور والتربة كل عام. وقد أظهرت البحوث الحديثة أن التربة يمكن أن تكون مصدرا دائما للتلوث نتيجة اختلاطها بالمواد السامة والتي تؤدي إلي تلوث التربة. وترشح هذه الملوثات ببطء من التربة إلي الأرض والمياه السطحية. كما أضاف الإنسان إلي الأرض أيضا الأملاح والمبيدات ومنتجات البترول، والتي تؤثر على نمو النباتات، فتترك التربة عرضة للتأثر السريع بالتعرية. وبذلك يتضح أن الإنسان قد أثر بدرجة ملحوظة على سطح الأرض خلال آلاف السنين من حضارته البشرية، ولاسيما في القرنين الأخيرين.

B-التجوية الكيميائية Chemical Weathering :

وتنشأ عادة من تفاعل الماء ومكونات الهواء الغازية مع المعادن المكونة للصخور فتحول بعض المعادن إلى معادن أخرى . ويرادف التجوية الكيميائية مصطلح التحلل Decomposition، والتجوية الميكانيكيــة (التفكك) والتجوية الكيميائية (التحلل) تعملان معا فى الغالب وربما سادت أحداهما على الأخرى حسب الظروف المناخية وعلى سبيل المثال فإن التحلل يسود فى المناطق الرطبة والدافئة بينما يسود التفكك فى المناطق الصحراوية الجافة . ومهمتها الأساسية التغيير الكيميائى للمحتوى المعدنى لصخور ولا سيما المعادن القابلة

للتغيير والتجوية الكيميائية أنشط ما تكون فى المناطق الرطبة الدافئة. تتفاوت المعادن في درجة مناعتها للتجوية الكيميائية، إذ أن بعضها قلما يتأثر، بينما البعض الآخر سريع التأثر.

وفيما يلي تصنيف لأهم المعادن حسب مناعتها :

- **صامد جداً :** تورمالين، كوارتز.
- **صامد :** بيوتيت، مجينيت.
- **أقل صموداً :** بيروكسين و فلسبار.
- **غير صامد :** أولفين.



تعرية الصخور الضعيفة





صور للتجوية الكيميائية

عندما تتعرض المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة، والتي تكونت أصلا عند درجات حرارة وضغط عاليين، لدرجات حرارة وضغط أقل عند سطح الأرض، فإنها تصبح غير مستقرة كيميائيا. وتتحلل مثل هذه المعادن إلي مكونات، تعطي معادن جديدة أكثر استقرارا عند سطح الأرض أو بالقرب منها.

وتحدث تفاعلات كيميائية عديدة أثناء التجوية الكيميائية بين المعادن المكونة للصخور المختلفة ومكونات الهواء والماء، حيث تؤدي تجوية الصخور إلي إذابة بعض العادن المكونة للصخور، بينما يتحد بعضها الآخر مع الماء وغيره من مكونات الغلاف الجوي مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، لتتكون مركبات كيميائية هى عبارة عن معادن جديدة. وتكون التجوية الكيميائية أكثر وضوحا في المناطق التي تكون درجات الحرارة وسقوط الأمطار فيها عالية، حيث إن تلك العوامل تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية.

ومن أهم عوامل التجوية الكيميائية :

١- الذوبان Dissolution :

على الرغم من قلة المعادن القابلة للذوبان فى الماء إلا أن تأثير الذوبان يكون ذا أهمية خاصة فى المناطق التى تحوى رواسب وصخورا ملحية (مثل الملح الصخرى Rock Salt) . غير أن الماء تزداد فاعليته وتأثيره على الصخور إذا اتحد بغاز ثانى أكسيد الكربون مكونا حمض الكربونيك الذى يؤثر على الصخور الجيرية التى تتكون أساسا من معدن الكالسيت (لاتذوب فى الماء) إلى بيكربونات كالسيوم Ca(HCO3)2 (تذوب فى الماء) ومعنى هذا انتقال المادة الصخرية إلى محلول مائى تاركه مكانها فراغات وفجوات وقد تكون باستمرار عملية الذوبان مجارى وذوبان وكهوف ومغارات .

٢- التميؤ Hydrolysis :

وهى عملية من شأنها اتحاد الماء مع بعض المعادن التى تتكون منها الصخور وينتج عنها ظهور معادن جديدة ذات صفات وخصائص جديدة تماما .

ومن أشهر الأمثلة الدالة على التميؤ معادن الفلسبار التى ينتج عن اتحادها بالماء تكون معادن طينية Clay Minerals ، وبطبيعة الحالة فإن عملية التميؤ التى تحدث للمعادن تكون أنشط ما يكون فى المناطق الرطبة والاستوائية حيث يقوم الماء بالدور الأساسى فيها .

٣- الأكسدة Oxidation :

وهى عملية من شأنها تحويل بعض المعادن إلى معادن أخرى عن طريق اتحاد الأكسجين مع بعض العناصر السريعة الاتحاد به مثل عنصر الحديد وذلك فى وجود الماء كعامل مساعدة . مثل تأكسد معدن البيريت إلى الليمونيت .

وعلى هذا الأساس فإن مركبات الحديدوز فى معظم الصخور النارية تتحول إلى مركبات حديديك حيث تتكسر جزئيات السيليكات المعقدة .

٤- التكربن Carbonation :

من المعروف أن غاز ثانى أكسيد الكربون قابل للإتحاد بالماء حيث يكونان معا حمضا ضعيفا هو حمض الكربونيك .

ويتفاعل حمض الكربونيك بدوره مع الصخور الجيرية مكونا بيكربونات الكالسيوم وهى مادة ذائبة . حيث ينشأ عن هذا التكون ظهور الفجوات والكهوف والمغارات فى الصخور الجيرية .

أ– عمليات التجوية الكيميائية :

التحلل المائى: عندما يتساقط ماء المطر من الغلاف الجوي، فإنه يذيب كميات صغيرة من ثاني أكسيد الكربون ويتكون حامض الكربونيك carbonic acid. وعندما يتحرك هذا الماء المحتوي على حامض الكربونيك الضعيف في التربة، فإنه يذيب كميات إضافية من ثاني أكسيد الكربون المتكون نتيجة تحلل بقايا النباتات والحيوانات، بالإضافة إلي أحماض أخرى. ويتأين حامض الكربونيك ليكون أيونات هيدروجين وبيكربونات حسب المعادلة التالية:

H2O +CO2 – H2CO

حامض الكربونيك ثاني أكسيد كربون ماء

-HCO331+ +H1

أيون بيكربونات أيون هيدروجين

وأيونات الهيدروجين هى أيونات صغيرة جدا تحمل شحنة واحدة موجبة بدرجة تسمح بأن تحل محل الأيونات الموجبة الأخرى مثل Ca2+، أو Na1+ أو K+١ داخل البنية البلورية للمعادن. ويؤدي هذا الإحلال إلي تغير التركيب المعدني للمعدن وتحطيم بنيته البلورية. وغالبا ما يتحلل المعدن إلي معدن آخر مختلف عندما يتعرض لحامض ما.

وتوضح المعادلة التالية الطريقة التي يتحلل بها معدن الفلسبار البوتاسي، وهو أحد المعادن المكونة للصخور الشائعة، بواسطة حامض الكربونيك وتأثير أيون الهيدروجين H1+ في تحلل المعادن :

SiO2٨ + Al4Si4O10(OH)8 + +K1٤ - H2O٢+ +H1٤ + KAISi3O8٤

فلسبار بوتاسي أيونات هيدروجين ماء أيونات بوتاسيوم كاولينيت سيليكا

فتدخل أيونات الهيدروجين في معدن الفلسبار البوتاسي، وتحل محل أيونات البوتاسيوم التي يحملها السائل خارج البلورة، بينما يتحد الماء مع جزيء سيليكات الألومنيوم المتبقي ليكون معدن الكاولينيت (سيليكات الألومنيوم المائية) نتيجة للتجوية الكيميائية، حيث لم يكن موجودا في الصخر الأصلي. ويسمى هذا التفاعل الذي يكتسب فيه الفلسبار الماء بالتميؤ hydration . ومعدن الكاولينيت أحد معادن مجموعة الصلصال الشحيحة الذوبان التي تكون جزءا أساسيا من الحطام الصخري (الأديم) فوق سطح الأرض. ويسمى التفاعل الكيميائي الذي تحل فيه أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيل من الماء، محل أيونات في المعدن بالتحليل المائي hydrolysis. وتعتبر هذه العملية إحدى عمليات التجوية الكيميائية الرئيسية التي تسبب تحلل الصخور الشائعة.

الغسل: يعتبر الغسل leaching من العمليات الشائعة في التجوية الكيميائية، وهو يعبر عن الإزالة المستمرة للمواد المذابة بالمحاليل المائية من صخر الأساس bedrock أو الحطام الصخري (الأديم) regolith. وعلى سبيل المثال، فعندما تتحرر السيليكا من الصخور نتيجة التجوية الكيميائية، فإن بعضها يبقى في الحطام الصخري الغني بمعادن الصلصال، وبعضها الآخر تحمله المياه المتحركة في الأرض ببطء. ويتم أيضاً حمل عديد من أيونات البوتاسيوم الناتج من تجوية الصخور في المحاليل. وتوجد الأيونات التي تم إذابتها من الصخور أثناء التجوية في كل المياه السطحية والمياه الجوفية تحت سطح الأرض. وقد يزيد تركيز هذه الأيونات بدرجة كبيرة تجعل للماء طعما غير مستساغ.

الأكسدة: يتكون الصدأ عندما يتحد الأكسجين مع الحديد ليكون أكسيد الحديد، كما يلي:

Fe2O3٢ - O2٣ + Fe٤

حديد أكسجين هيماتيت

وتحدث هذا التفاعل الكيميائي والذي يطلق عليه الأكسدة oxidation عندما يفقد عنصر ما إلكترونا خلال التفاعل. ويقال في هذا التفاعل، إن الحديد قد تأكسد لأنه فقد إلكترونات اكتسبها الأكسجين. ويتأكسد الحديد ببطء شديد في البيئة الجافة، بينما إضافة الماء من سرعة التفاعل بدرجة كبيرة.

والأكسدة عملية مهمة في تحلل المعادن، مثل مجموعة المعادن الحديد وماغنيسية (الأوليفين والبيروكسينات والأمفيبولات والبيوتيت). وفي معادن السيليكات الحديد وماغنيسية لابد أن ينفصل الحديد أولاً من السيليكا في البنية البلورية للمعدن قبل أن يتأكسد . وأكسيد الحديد المتكون هو معدن الهيماتيت (Fe_2O_3)، الذي يتميز مسحوقه بلون بني محمر. وفي وجود الماء، كما هو الحال عند سطح الأرض غالبا، فإن أكسيد الحديد يتحد مع الماء ليتكون الليمونيت limonite، وهو اسم لمجموعة من أكاسيد الحديد المائية، والتي تكون غير متبلورة غالبا (تحتوي غالبا على معدن الجوثيت)، والتي يتميز مسحوقها بلون بني مصفر. والرمز العام لتلك المجموعة هو Fe2O3 Nh2O (ويمثل الرمز n رقما صحيحا صغيرا مثل ١ أو ٢ أو ٣ ليوضح كمية الماء المتغيرة).



صـــــــــخور متأكســــــــــدة

الذوبان: إن معدن الأوليفين الذي يتم تجويته بسرعة بالنسبة لباقي معادن السيليكات، يكون بطيء الذوبان نسبيا، مقارنة بالمعادن الأخرى المكونة للصخور. فالحجر الجيري والمكون من معادن كربونات الكالسيوم (كالسيت ودولوميت) هو إحدى الصخور التي يتم تجويتها بسرعة كبيرة في المناطق الرطبة. ويظهر على المباني الجيرية القديمة أثر الذوبان بسبب مياه الأمطار. وتذيب المياه الجوفية كميات كبيرة من معادن الكربونات في صخور الحجر الجيري وتجوفها لتكون كهوفاً في هذه الصخور. ويستخدم المزارعون الحجر الجيري للذوبان بسرعة. ويلاحظ أنه عندما يذوب الحجر الجيري النقي لا يتكون الصلصال وتذوب الأجزاء الصلبة تماما، وتحمل مكوناتها في السوائل ويطلق على هذه العملية الإذابة dissolution، وهى من عمليات التجوية الكيميائية المهمة. ويزيد وجود حامض الكربونيك من إذابة الحجر الجيري، بالإضافة إلي تجوية المعادن السيليكاتية. وتمثل المعادن التالية التفاعل الذي بذوب فيه الكالسيت، وهو المعدن الرئيسي في الحجر الجيري، في مياه الأمطار أو أي مياه أخرى تحتوي على ثاني أكسيد الكربون:

$$-HCO_3)1)۲ + Ca - H_2CO_3 + CaCO_3$$

كالسيت حامض الكربونيك أيون كالسيوم أيون بيكربونات

ب – تأثير التجوية الكيميائية على الصخور الشائعة:

تعتمد المعادن والأيونات القابلة للذوبان، والتي تتكون عندما يتم تجوية صخر ناري كيميائياً، على التركيب المعدني للصخر. فمحتوى الجرانيت من السيليكا أعلى منه في البازلت، كما أن تركيبهما المعدني مختلف. ويحتوي صخر الجرانيت على الكوارتز، وهو غير نشط في التفاعل كيميائيا، بالإضافة إلي المعادن التي تحتوي على البوتاسيوم مثل الفلسبار البوتاسي والمسكوفيت وقليلاً من المعادن الغنية في الحديد والماغنسيوم. وعندما يتحلل صخر الجرانيت بالتحلل المائي، حيث يتم تجوية الفلسبار والميكا والمعادن الحديدومغنيسية إلي معادن الصلصال والأيونات الذائبة Na، K، Mg، ويتبقى معدن الكوارتز، وهو غير نشط كيميائيا، دون تحلل. ويتم تجوية الفلسبار والمعادن الحديدومغنيسية في صخر البازلت إلي معادن الصلصال والأيونات الذائبة Ca، Mg، Na، بينما يتم تجوية معدن الماجنيتيت إلي الجوثيت.

وعندما يتم تجوية الحجر الجيري بالإذابة، وهو أكثر صخور الكربونات شيوعا، فإن أيونات الكالسيوم والبيكربونات ستذوب من الصخور مخلفة الشوائب غير القابلة للذوبان فقط (أساسا معادن الصلصال clay minerals والكوارتز)، والتي تتواجد دائما بكميات صغيرة في الصخر. لذلك، فإنه عندما يتم تجوية الحجر الجيري كيميائيا، فإن الغلاف الصخري المتبقي يتكون أساسا من معادن الصلصال والكوارتز.

١ – تركيز المعادن المستقرة :

هناك عدد من المعادن، ومنها معدن الكوارتز، تكون مقاومة بشدة للتجوية الكيميائية عند سطح الأرض. وتبقى بعض المعادن المقاومة للتجوية الكيميائية مثل الذهب والبلاتين والماس في الحطام الصخري الذي تم تجويته، حيث يتم تعريته وتكون راسبا. وتتميز بعض هذه المعادن بكثافة نوعية أعلى من المعادن الأخرى الشائعة مثل الكوارتز. ولذلك فإنه يتم تركيزها ضمن

طبقات الأنهار أو المجاري المائية عموما أو على امتداد شواطيء البحار. وقد يتم تركيز بعض هذه الرواسب بدرجة تسمح بتكوين رواسب معدنية ذات قيمة اقتصادية.

٢ – لحاء التجوية :

إذا كسرت حصاة كبيرة (جيلمود) من البازلت الذي تم تجويته، فإننا نرى عادة لحاءً فاتح اللون يحيط بلب أغمق لونا من صخر لم يتغير . ويتكون هذا اللحاء من نواتج صلبة تكونت نتيجة التجوية الكيميائية وتسمى لحاء تجوية weathering rind، وتبدأ التجوية عند السطح المنكشف غير المجوي ويمتد ببطء إلي الداخل. وتشمل عادة تلك التجوية أكسدة المعادن الغنية بالحديد ونزع (إزالة) الماء dehydration من هيدروكسيد الحديديك لتكون الجوثيت goethite مما يعطي للحاء المتكون لونا بنيا فاتحا. كما توضح المعادلة التالية:

H2O + (FeO(OH - Fe(OH)3

هيدروكسيد حديديك جوثيت ماء

٣ – التقشر والتجوية الكروية:

قد تنخلع أغلفة متحدة المركز من السطح الخارجي لصخور منكشف أو جلمود صخري، في عملية تعرف بالتقشر exfoliation . ويوجد أحيانا غلاف واحد من القشور، كما قد يتكون عشرة أغلفة أو أكثر، مما يعطي الصخر مظهر البصل.

وينتج التقشر من الضغوط المتباينة في الصخر والتي تنتج أساسا من التجوية الكيميائية. فمثلا، عندما يتم تجوية الفلسبارات إلي الصلصال، فإن حجم الصخر المجوي يكون أكبر من حجم الصخر الأصلي. وتتسبب الضغوط المتكونة في انفصال أغلفة رقيقة من الصخر من كتلة الصخر الرئيسية غير المجواة.

وتؤدي التجوية الكيميائية تحت سطح الأرض إلي تكون هالة من الصخر المتحلل حول لب صخري غير متحلل. فإذا بدأنا بمكعب من صخر صلب لم يتم تجويته، فإن الماء المتحرك على امتداد الفواصل يتفاعل مع الصخر من كل الجوانب، حيث يقل حجم الصخر غير المتحلل ويصبح كروياً في عملية تعرف بالتجوية الكروية spheroidal weathering . ويمكن رؤية الجلاميد المتكونة نتيجة التجوية فوق الأسطح غير المجواة. ونلاحظ هنا علاقتين مهمتين هما أن تأثير التجوية الكيميائية يزداد كلما زادت مساحة السطح المعرض للتجوية. فتقسيم مكعب من الصخر يزيد مساحة السطح المعرض للتجوية دون أي إضافة إلي حجم هذا المكعب. وتؤدي عملية التقسيم المستمر والمتكرر إلي تأثير ملموس في الصخور. فعندما يقسم مكعب من الصخر طول ضلعه ١سم ومساحة سطحه ٦سم٢ إلي أقسام في حجم معادن الصلصال الصغيرة، فإن مساحة السطح تزداد إلي نحو ٤٠ مليون سم٢. وهكذا تؤدي عملية التجوية الكيميائية إلي زيادة واضحة في مساحة السطح المعرض، مما يؤدي إلي استمرار وزيادة عملية التجوية.

٤ – أشكال السطح نتيجة التفاعل مع صخور الكربونات :

يؤدي تفاعل حمض الكربونيك مع الحجر الجيري إلي تكون العديد من أشكال السطح، والتي تكون غالباً ذات أبعاد صغيرة. وتتكون على مكاشف الحجر الجيري أشكال مختلفة مثل التجاويف القاعية cups والتي تأخذ شكل الفنجان، والأخاديد grooves والقنوات الضحلةflutes في نمط متشابك. وقد تمنع الأخاديد العميقة والصخور التي تشبه الحوائط المعلقة مرور الناس خلالها. وتؤدي إذابة حامض الكربونيك للحجر الجيري إلي تكون كهوف تحت سطح الأرض بالإضافة إلي معالم أرضية مميزة تتكون نتيجة انهيار الكهوف تحت سطح الأرض. وسوف يتم مناقشة تلك الملامح الطوبوغرافية في الفصل الثالث عشر الذي يناقش المياه الجوفية.

ج – الاستقرار الكيميائي: التحكم في سرعة التجوية :

على الرغم من أن الصخور المكونة من السيليكات تغطي مساحات أكبر بكثير من تلك التي تغطيها الصخور الكربوناتية، إلا أن تجوية الحجر الجيري تمثل أكبر نسبة من التجوية الكيميائية لسطح الأرض عن أي صخر آخر. ويرجع السبب في ذلك إلي أن المعادن الكربوناتية تذوب أسرع وبكميات كبيرة عن أي سيليكات. وتغطي معدلات التجوية للمعادن مدى كبير يتراوح من المعدلات السريعة للكربونات إلي المعدل البطيء للكوارتز. وتعكس المعدلات المختلفة التي تتم عندها تجوية المعادن مدى الاستقرار الكيميائي للمعادن في ظروف التجوية – أي وجود الماء عند درجات حرارة سطح الأرض.

١ – الاستقرار الكيميائي:

يعرف الاستقرار الكيميائي chemical stability بأنه قياس قابلية مادة كيميائية ما لأن تبقى في شكل كيميائي معين فضلاً عن أن تتفاعل تلقائيا لتكون شكلا كيميائيا آخر. ويمكن تشبيه هذا الاستقرار الكيميائي لحد ما بالاستقرار الميكانيكي. فالكتاب الموضوع على منضدة يكون مستقرا ويستمر في هذا الوضع ما لم يتم تحريكه. أما الكتاب الموضوع على حافة المنضدة فإنه يكون غير مستقر، حيث يتسبب أي اهتزاز في سقوطه. وكما هو الحال مع الكتاب المسطح المستقر ميكانيكيا، يكون فلز حديد النيازك القادم من الفضاء الخارجي مستقرا كيميائيا، حيث لا يتعرض لأي أكسجين أو ماء، ويبقى الحديد مستقرا لبلايين السنين. أما إذا سقط هذا النيزك على سطح الأرض، فسيتعرض للأكسجين والماء ليصبح غير مستقر كيميائيا، ويتفاعل تلقائياً ليكون أكسيد حديديك.

والمواد الكيميائية تكون مستقرة أو غير مستقرة نتيجة علاقتها ببيئة معينة أو تواجدها تحت مجموعة معينة من الظروف. فعلى سبيل المثال: يكون الفلسبار مستقرا عند تواجده في عمق القشرة الأرضية (أي تحت درجات حرارة مرتفعة وكميات قليلة من الماء)، إلا أنه يصبح غير مستقر تحت الظروف السائدة عند سطح الأرض (درجات حرارة منخفضة ووفرة الماء). وتحدد خصيتان للمعدن مدى استقراره الكيميائي وهما: قابليته للذوبان ومعدل ذوبانه.

قابلية الذوبان: تقاس قابلية ذوبان solubility معدل معين، بكمية المعدن المذابة في الماء حتى يصل المحلول إلي نقطة التشبع – وهى النقطة التي لا يستطيع عندها الماء أن يحتفظ بأي كمية أخرى من المادة المذابة. وكلما زادت قابلية ذوبان المعدن قلت درجة استقراره أثناء

عملية التجوية. فمثلاً يكون الملح الصخري (المكون من معدن الهاليت وهو ملح الطعام) غير مستقر عند ظروف التجوية، حيث إنه يذوب بدرجة عالية في الماء ويتم غسله وإذابته من التربة بأي كمية صغيرة من الماء. وعلى العكس، يكون الكوارتز مستقرا بدرجة معقولة تحت معظم ظروف التجوية، حيث إن ذوبانه في الماء منخفض جدا (في حدود ٠,٠٠٨ جرام لكل لتر من الماء تقريبا)، ولا يغسل أو يذاب من التربة بسهولة.

معدل الذوبان: يقاس معدل ذوبان معدن، بكمية المعدن التي تذوب في محلول غير مشبع في وقت محدد. وكلما كان ذوبان المعدن أسرع، كان أقل استقرارا. فالفلسبار يذوب بمعدل أسرع من الكوارتز، ولذا فهو أقل استقرارا منه عند ظروف التجوية العادية.

٢ – سلسلة استقرار المعادن الشائعة المكونة للصخور :

تكون التجوية الكيميائية شديدة في الغابات الاستوائية المطيرة، حيث لا يبقى في المنكشفات أو في التربة إلا أكثر المعادن استقرارا. أما في المناطق الصحراوية الجافة في شمال إفريقيا، وكما هو الحال في الصحاري المصرية، فإن التجوية تكون ضعيفة، حيث تبقى الآثار المصنوعة من الألباستر سليمة دون تحلل، كما تبقى الكثير من المعادن غير المستقرة سليمة. لذلك، فإن معرفة الاستقرار الكيميائي النسبي للمعادن المختلفة تساعد في توقع مدى التجوية في منطقة معينة. ولقد تم مقارنة مدى استقرار كل المعادن الشائعة والمكونة للصخور وتم تجميعها في سلسلة تعرف بسلسلة استقرار stability series المعادن . وهى تتراوح بين معادن الملح والكربونات عند أقل حد للاستقرار إلي أكاسيد الحديد عند أكبر حد للاستقرار. ويكون وضع معادن السيليكات في هذه السلسلة عكس وضعها في سلسلة بوين التفاعلية، والتي تضم معادن السيليكات مرتبة في قائمة طبقا للترتيب الذي تتبلور به هذه المعادن من صهارة بازلتية. ويمكن ملاحظة أن الأوليفين والبلاجيوكليز الكلسي هما أول المعادن تبلور أثناء تبرد الصهارة، مما يدل على ثباتهما واستقرارهما عند درجات الحرارة والضغوط العالية. وهما أيضا أقل المعادن استقرارا عند التجوية، وأول المعادن التي تختفي عند تعرضها على سطح الأرض عند درجة الحرارة والضغط المنخفضين.

وتحدد طبيعة الروابط الكيميائية التي تميز البنية البلورية لمعادن السيليكات الاستقرار النسبي لتلك المعادن، والذي ينعكس خلال سلسلة الاستقرار وأثناء التجوية. وتتكون معادن السيليكات الأقل استقرارا أثناء التجوية من رباعيات السيليكات المفردة. وتميز هذه البنية البلورية معدن الأوليفين الذي يظهر قرب نهاية القائمة الأولى ، ويلي ذلك سيليكات السلسلة المفردة (البيروكسينات) وسيليكات السلسلة المزدوجة (الأمفيبولات) والتي تعتبر إلي حد ما أكثر استقرارا من الأوليفين. ويلي ذلك في درجة الاستقرار السيليكات الصفائحية (الميكا ومعادن الصلصال)، والسيليكات الإطارية (الهيكلية) مثل الكوارتز ثم أكاسيد الحديد والألومنيوم.

وبالإضافة إلي الكوارتز، فهناك أيضا عدد من المعادن الأخرى التي تقاوم بشدة التجوية الكيميائية عند سطح الأرض. ويتم تعرية بعض المعادن مثل الذهب والبلاتين والماس والتي استمر بقاؤها في الحطام الصخري الذي تم تجويته، لتكون راسبا في النهاية. وقد تتركز بعض هذه المعادن، والتي تتميز بكثافة نوعية أعلى من المعادن الشائعة مثل الكوارتز، في طبقات المجاري المائية، أو على شواطيء البحار والمحيطات مثل الرمال السوداء بمصر. وقد تتركز بعض هذه الرواسب بدرجة كبيرة لتكون رواسب معدنية ذات قيمة اقتصادية.

أسباب اختلاف التجوية:

تختلف التجوية ـ كما وكيفا ـ أى من حيث النوع والمقدار باختلاف عاملين أساسيين على النحو التالى :

أولاً : اختلاف التضاريس:

١ـ المناسيب العالية :

تتميز الجبال العالية بوجود الجليد على قممها مما يعطى الفرصة الأكبر لاتساع الشقوق والفواصل بسبب تمدد الجليد .

٢ـ المنحدرات الشديدة :

إن الميول الحادة للتلال والجبال تهئ الفرصة لنواتج التجوية من الحطام والفتات الصخرى إلى سقوط أسفل هذه التلال والجبال بفعل الجاذبية وبذلك تتعرض أسطح جديدة للتجوية .

٣ـالسهول والمناسب المنخفضة :

إن الغطاء النباتى الذى يغطى السهول والمناسيب المنخفضة هو غطاء يقى التربة من تأثير عوامل التجوية وإن كان هذا لا يمنع من أن النبات يساهم إلى حد ما فى توسيع الشقوق والفواصل عن طريق تغلغل الجذور فى التربة . لذا فإن التجوية ذات أثر محدود فى هذه المناطق .

ثانيا : اختلاف نوعية الصخور :

ليست التجوية على حد سواء فى الصخور إذ يختلف تأثيرها حسب المحتوى المعدنى للصخور فالمعادن يتفاوت تأثير التجوية عليها باختلاف خصائصها الفيزيائية والكيميائية . ولأن المعادن جمعيها تختلف فى سرعة استجابتها للتجوية الكيميائية (التحلل) فقد تمكن الباحثون فى هذا المجال من وضع دليل لقياس سرعة التجوية Weathering Potential Index بالنسبة لمعادن السيليكات ويمثل هذا الدليل المقاومة النسبية للتجوية بدءا من معدن الكوارتز الذى أعطى الرقم (١) وهو أكثر المعادن مقاومة للتجوية بينما تعتبر المعادن التى تمتلك رقم أعلى من (١) قابلة للتجوية . (الكوارتز ـ الأرثوكليز ـ المسكوفيت ـ البلاجيوكليز ـ البيوتيت ـ الهيورنبلند ـ البيروكس ـ الأوليفين) . إذن فالكوارتز هو أكثرها مقاومة بينما الأوليفين هو أقلها فى المقاومة .

وفيما يلى أمثلة لتجوية أنواع الصخور :

تجوية الصخور النارية :

على الرغم من أن مكونات الصخور النارية من المعادن الأساسية لا تتعدى ـ فى مجموعها ـ ستة أنواع من المعادن إلا أنه يوجد تفاوت نسبى فى تجوية كل من الصخور النارية الحمضية والصخور النارية القاعدية . فالصخور النارية الحمضية والتى من أشهرها الجرانيت تتكون من الكوراتز ـ الفلسبار(أرثوكليز وبلاجيوكليز) ميكا (مسكوفيت ـ بيتوييت) .

فالكواتز يبقى على حالة دون تحلل ليكون فيما بعد حبيبات من الرمل .

أما الفلسبار فتتحلل مكونة سيليكات الومنيوم مائية (معادن طينية) بالاضافة إلى أكاسيد البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وهى مواد قابلة للذوبان على هيئة كربونات وكلوريدات .

أما الميكا ولا سيما البيوتيت والمسكوفيت من أشد المعادن مقاومة للتحلل فتبقى على حالها كرقائق وقشور بينما يستجيب معدن البيوتيت للتحلل مكونا بدوره سيليكات ألومنيوم مائية وأكاسيد مغنسيوم وحديد وهى مواد قابلة للذوبان على هيئة كربونات وكلوريدات . وفى حالة الصخور النارية القاعدية والتى يمثلها الجابرو والذى يتكون من البلاجيوكليز والبيروكسين فإن التحلل المائى يتسبب فى تحطيم هذين المعدنين إلى سيليكات ألومنيوم مائية (معادن طينية) وأكاسيد صوديوم وكالسيوم ومغنسيوم وحديد وهى مواد قابلة للذوبان على هيئة كربونات وكلوريدات .

تجوية الصخور الجيرية :

تتكون الصخور الجيرية أساسا من معدن الكاليست وقد تحتوى أحيانا على الكوارتز (التى قد يكون أحيانا على هيئة سيليكات غير متبلورة) ومعدن البيريت ومن خلال عملية التكربن فإن الكالسيت الذى يتكون من الكربونات الكالسيوم يتحول إلى بيكربونات الكالسيوم التى تذوب فى الماء أى أنه يتم إزالة الكالسيوم على شكل أيونات ذائبة فى الماء . بينا يتراكم الكوارتز على هيئة حبيبات رملية . أما البيريت فيتأكسد إلى ليمونيت وكبريت وقد يتحول هذا الكبريت إلى حمض الكبريتيك الذى يتفاعل مع الكالسيت ليكون معدن الجبس $CaSO_4 .2H_2O$.

ـ تجوية الصخور الرملية :

من المعروف أن الصخور الرملية تتكون أساسا من حبيبات رملية تتماسك مع بعضها البعض بوسطها مادة الحمة مثل الكالسيت أو أكاسيد الحديد . ولأن حبيبات الرمل (ثانى أكسيد السيليكون) من أشد المواد مقاومة للتجوية فتبقى على حالها دون تأثر بيما ينصب تأثير التجوية على المواد اللاحمة فقط .

وسنتناول في الأجزاء الأولى من هذا الفصل التجوية الكيميائية لأنها تمثل العامل الأساسي والمحرك الذي يسير كل عمليات التجوية كما تعتمد التجوية الطبيعية بدرجة كبيرة، رغم أهميتها على التحلل الكيميائي. وسنتناول أولاً العوامل التي تتحكم في التجوية، ولماذا تتم تجوية بعض الصخور أسرع من الصخور الأخرى؟

٢ـ التآكـــــــــــل :

يكمن التآكل بتفتيت الصخور والمعادن إلى أجزاء أصغر فأصغر تحاتّها ببعضها خلال عمليات انتقال الأجزاء من مواقعها الأساسية إلى مواقع ترسبها، ويكون التآكل على أشده في الأماكن العارية من النبات، حيث أن الحتات ينتقل بسرعة بواسطة المياه الجارية والرياح، وتحت تأثير عوامل الجاذبية، ويزيل حتات الحطام الأجزاء البارزة تدريجياً بحيث تتحول المواد المنقولة إلى أشكال مستديرة أكثر فأكثر، وتشكل الثلاجات (الأنهار الجليدية) في المناطق الباردة عاملاً فاعلاً في عملية التآكل.



صورة لتآكل الصخور

تختلف المعادن من حيث مناعتها للتآكل، وبوجه عام ترتبط هذه المناعة بصلابة المعادن، وتعمل التجوية تباعاً مع التآكل في اتجاه موحد، ينجم عنه تحطيم الصخر والمعادن وتفككها.

٣ـ النـــــقــل :

الناقل الأساسي في النقل هو الماء برغم كون الثلاجات والرياح عوامل مهمة حيثما وجدت، ويجري خلال النقل تصنيف تلقائي للمواد المنقولة حسب حجمها وكثافتها، والقاعدة العامة هي أن أصغر الأجزاء تنتقل إلى أبعد مسافة، فالأملاح الذائبة تبقى في الماء زمناً طويلاً إلى أن تصادف ظروفاً خاصة تجعلها تترسب أو تتفاعل مع مواد أخرى وتنتمي ومعادن الكربونات إلى هذا النوع. وتنقل المياه المعادن الطينية الصغيرة الحجم حتى تصل إلى الأحواض الرسوبية الكبرى، حيث تترسب عندما تنخفض قوة التيار، أما الرمال المكونة من الكوارتز والمعادن الصامدة فإنها تنتقل ببطء وتتجمع في السهول والمنخفضات والشواطئ.



الماء هو العامل الأساسي في النقل

تشكل التربة مرحلة إنقالية بين التجوية والترسيب، فهي مؤلفة من أجزاء متنوعة التركيب ومختلفة الأحجام وكل معادنها ناتجة عن تجوية الصخور. تجدر الإشارة أخيراً إلى أن لقوة الجاذبية دوراً أولياً في النقل فهي المسؤولة عن تحرك المياه وماتنقله من الأعالي نحو المنخفضات، وتحت تأثيرها يتم انزلاق الرسوبيات وانهيار الصخور من الجبال.

عـــــــوامل التعريـــــــــــــة:

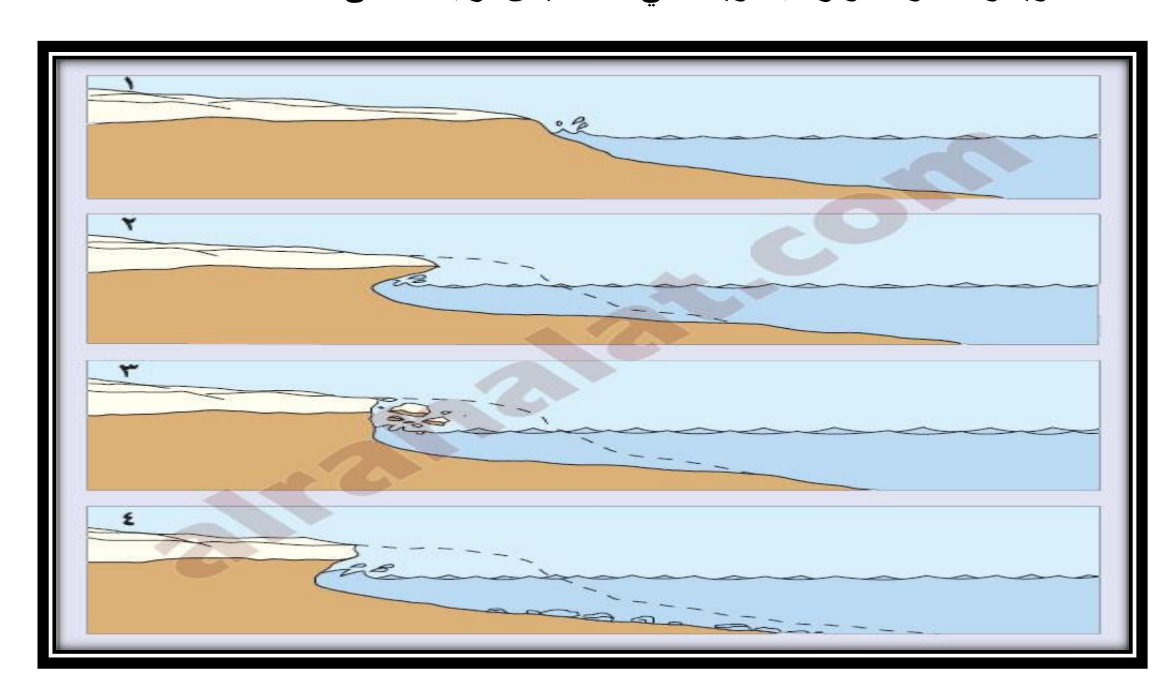
عوامل التعرية عديدة وتختلف بأهميتها وفعلها حسب الضروف والأحوال، ونكتفي بذكر أهمها والدور الذي تقوم به :

١ـ المياه الجارية :

صحيح أن كمية الأمطار قليلة في المملكة العربية السعودية ولكننا لاحظنا – برغم ذلك ، فعل مياه الأمطار التي تتساقط في كل مكان، ولاحظنا كيف أنها تحمل معها أجزاؤ من التربة قبل أن تتجمع في مستنقعات وأنهار، فالمياه الجارية تشكل عامل تجوية وتآكل ونقل وترسيب . وتتخلص أعمالها بإذابة بعض المواد ونقل مواد أخرى وحفر المجاري التي تسلكها . وفي النهاية ترسِّب المياه الجارية المواد المنقولة في المنخفضات وفي الأحواض كالبحيرات والبحار وأن مانراه في فصل الأمطار من تعكر مياه السيول والأنهار والشواطئ البحار هو دليل قاطع على دول المياه الجارية في التعرية، ولمعرفة فعل المياه السطحية نستعرض بعض الصور التي تبين مظاهر التعرية في بعض الحالات.

٢ـ البــــــــحر :

عامل تجوية وتآكل ونقل وترسب، ويشتد في هذا الميدان قرب الشاطئ؟

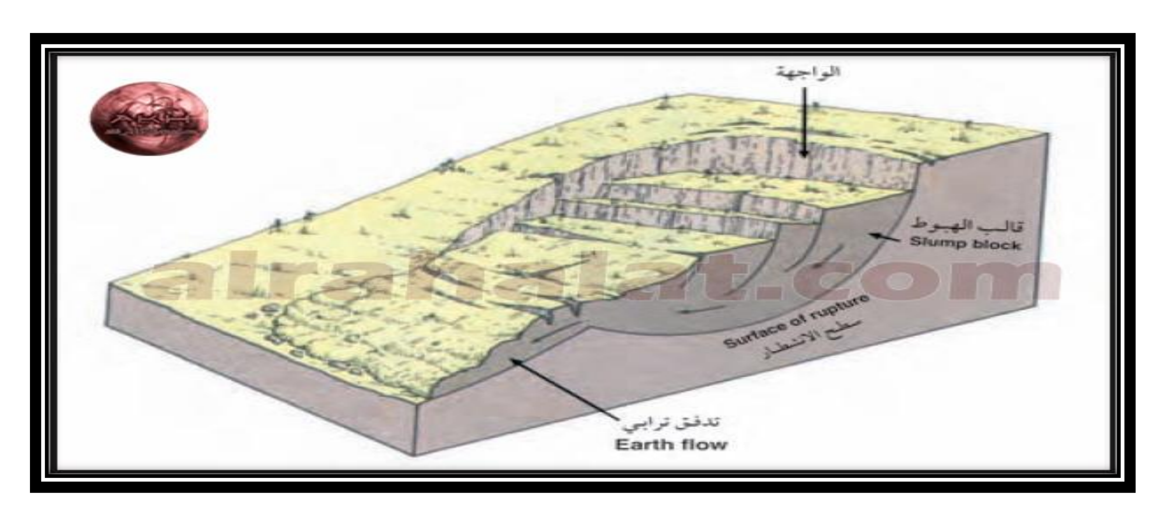


الفعّل الهدام للبحار.

٣ـ المياه الجـــوفية :

تقوم بإذابة الصخور، وعلى الأخص الجيرية منها، فهي بالتالي عامل تجوية ونقل. عندما تتحرك المياه الجوفية داخل طبقات قشرة الأرض تحدث في ضروف معينة، انزلاقات متعددة الأشكال وكهوفاً داخلية متشعبة :

أـ الانزلاقات: تتم إذا ترسبت المياه الجوفية داخل طبقة طينية تعلوها صخور جيرية متشققة. إذ عندما تبلل الطبقة الطينية تأخذ بالتحرك، وعلى الأخص إذا كان انحدارها قوياً وبالطبع فإن الطبقة الجيرية التي تعلوها تتحرك معها، فتنزلق وتسبب لاقدر الله كوارث طبيعية إذ تجرف معها مواقع آهلة بالسكان.لذلك يجب القيام بدراسة جيلوجية مفصلة قبل القيام بأي مشروع عمراني في مناطق قد تكون معرضة لمثل هذه الانزلاقات.



الانزلاقات الأرضية

ب- الكهوف :

تحمل المياه كمية من ثاني أكسيد الكربون، وهذا مايجعلها تذيب الصخور الجيرية وتوسع المسام والتشققات التي تترسب عبرها، ومع مرور الزمن تتسع هذه المسام والتشققات إلى حد تشكل معه خنادقـ مغارات كهوفاً متعددة الأشكال وقد دعيت هذه الظواهر بالكارسات (karst) ولاتقتصر مظاهر الذوبان على الطبقات الداخلية، بل تظهر غالباً على سطح الصخور الجيرية، في أعالي الجبال، شكل فجوات وحافات باروة ومجاري ومنخفظات مستديرة. ومن أبرز المظاهر التي تنتج عن فعل المياه الجوفية في الكهوف، هي :

النوازل الكلسية (Stalactites).

الصواعد الكلسية (Stalagmites).

وتتكون هذه الصواعد والنوازل عندما يرشح الماء ببطء على جدران المغارات وسقوفها، حيث يأخذ عندئذ بالتجمع نقطة فنقطة، ويتبع ذلك انفصال كربونات الكالسيوم في الماء فيكوّن نوازل متدلية من السقف، وتتراكم الصواعد بشكل مماثل من القاع.





أشكال مختلفة للكهوف

٤- الثلاجـــات :

تلعب دوراً هاماً ونقل من المناطق الباردة. فهي فهي تحفر الصخور التي ترتكز عليها وتصقلها، وإذا دام عملها فهي تحفر أودية عميقة، والثلاجات هي العامل الجيلوجي الوحيد الذي يقوى على نقل صخور ضخمة إلى مسافة قد تزيد على مئات الكيلو مترات.



صورة الثلاجـــــــــــــــات.

٥- الريـــــــاح :

تشكل الرياح عاملاً جيلوجياً بالغ الأهمية في المناطق العارية من النباتات، وعلى الأخص في المناطق الصحراوية الجافة وبوجه عام تأتي الرياح في الدرجة الثالثة بعد المياه والثلوج في عمل التعرية والنقل. ولكن أهميتها في هذا الميدان تزداد مع تضاؤل كمية الأمطار، ونحن نلاحظ دائماً قوة الرياح في المملكة العربية السعودية ونرى أعمدة الغبار والرمال التي تحركها في بعض فصول السنة وتقوم الرياح بأربعة أعمال متتالية: السفي والتآكل والترسب، هذه الأعمال متواصلة ومتممة لبعضها في الطبيعة. والنحت عمل تعرية خاص تقوم به الرياح في المناطق الصخرية الجرداء، حيث تصدم الرمال والصخور فتنحتها وتنتزع منها أجزاء صغيرة.

ولابد أن نذكر هنا من جديد أن فعل الأوامر الجيولوجية يرتبط دائماً بمدى الزمن. فلو انتزعت الرياح مثلاً سنتمتراً واحداً من أعالي الصخور كل سنة لكان ذلك يعادل عشرة آلاف متر كل مليون سنة .





صور تعرية الرياح

أما الكثبان الرملية واسعة الانتشار في المملكة العربية السعودية فهي بسبب الرياح، وتكون هذه الكثبان ثابتة أو زاحفة وتأخذ أشكالاً تتلاءم مع أتجاه الرياح وقوتها ومعالم الأرض التي تسفيها فوقها.

٦- دور الأحياء :

لاتعدى مدى تأثير النبات على الصخور بضعة أمتار، بينما تنتشر الأحياء المجهرية على أعماق تصل إلى مئات الأمتار. تمتص الأحياء بعض العناصر من الأرض وتفرز فيها مركبات جديدة، فيطرأ تغير كيميائي على المعادن نتيجة هذا التفاعل، وأهم المواد التي تؤثر على المعادن هي الحوامض العضوية التي تفرزها الأحياء، فهي تتفاعل مع بعض المعادن وتحولها وتذيب بعضها. وتأثير الحيوانات هو أقل بكثير من النباتات، وأهم الأعمال التي تقوم بها الحيوانات الزاحفة والحافرة هي تحريك التربة وقلبها، فعمل القوارض والنمل والديدان والحشرات بوجه عام بوجه عام معروف ولايحتاج إلى مزيد من البحث. وهناك دور يجب عدم إغفاله وهو دور الإنسان الذي يقوم بحرث الأرض والبناء وإنشاء الطرق وشق القنوات إضافة إلى الحروب وماتسببه من هدم للقشرة الأرضية.

كيف تحدث التعرية؟

تبدأ التعرية **بعملية التجوية،** وفيها تعمل عوامل بيئيَّة متعددة على تفتيت الصخور والتربة إلى أجزاء أصغر بحيث تحررها من سطح التربة. ويعد تكوُّن الجليد واحدًا من أهم أسباب التجوية. فحين تتجمد المياه فإنها تأخذ حيزًا أكبر في شقوق الصخور ويصبح بإمكانها تفتيت الصخور إلى أجزاء.

ومن الأسباب الأخرى للتجوية: العوامل الكيميائية والكائنات الحية، وحركة الهواء أو الجليد والماء والحرارة المنبعثة من الشمس. ثم تنتقل المواد إلى مناطق أخرى بعد أن تتحرر بالتجوية. فعلى سبيل المثال، ترفع الرياح الجسيمات عن سطح الأرض وتنقلها إلى مسافات شاسعة. وكذلك تنقل المثالج المواد الموجودة فيها. وتنقل قطرات المطر المتساقطة على الأرض المنحدرة الجسيمات إلى الأراضي المنخفضة. ويحمل مجرى المياه المواد إلى مجرى النهر أو إلى البحر.

عمليات التعرية:

التعرية السطحية تحدث نتيجة انجراف الطبقة العليا من التربة بفعل الرياح، مما يتلف الأراضي الزراعية.

التعرية الأخدودية تتسبب فيها الرياح والأمطار بحيث تتسع المصارف والأنهار مشكِّلة بذلك الأخاديد.



التعرية بفعل الماء:

قد تحدث سريعا من جراء مياه الأمطار المندفعة من المرتفعات الى الأراضي المنخفضة العارية من النباتات.

تعتبر المياه الجارية والهواء والجليد أهم عوامل النحت: فالمعروف أن الصخر الذي يتفكك محلياً لا يبقى في مكانه وإنما يتم نقله بواسطة هذه العوامل ويؤدي هذا إلى تحرك المفتتات الصخرية على وجه الأرض وإحتكاكها ببعضها البعض مما يساعد في الواقع على زيادة تفتتيتها. وينبغي أن ندرك دائماً أن عوامل النحت من هواء إلى مياه جارية إلى جليد، لا تنحت الصخر بنفسها بل يساعدها على إتمام هذه العملية ما تدفعه معها وهي تتحرك من مواد مفتتة. فكأن المواد المفتتة إذن، هي بمثابة مطارق الهدم التي يستخدمها عوامل النحت في نحت الصخور وتفتتيتها، ولكن هذا لا ينفي القول بأن بعض العوامل تستطيع القيام بعملية النحت من تلقاء نفسها، ويمكن حصر العوامل تساعد على عملية النحت على النحو التالي:

الجاذبية:



صورة تبين تعرية بفعل انهيار تثاقلي على ضفتيه.

اهدار الكتلة هي الانزلاق لأسفل للصخور والرسوبيات، أساساً بسبب الجاذبية.

المياه:



كرة شبه كاملة من الگرانيت، Trégastel بريتاني.

تعتبر المياه الجارية وهي أكثر عوامل النحت اثراً في تشكيل سطح الأرض، وذلك لأن مياه الأمطار إذا ما تجمعت، تكون مسيلات مائية وجداول ترتبط ببعضها البعض، وتكون أنهاراً جارية وتنجدر على سطح الأرض بفعل قوة الجاذبية الأرضية وتساعد على نحت سطح الأرض وتشكيله. ولا يقتصر تأثير المايه الجارية على المناطق المطيرة وحدها بل يتعداها إلى المناطق الصحرايوة سواء كانت هذه الصحاري باردة أم دفيئة، إذ يؤدي تكون المياه بعد ذوبان الثلوج في الصحاري الباردة إلى نحت الصخور وتعريتها، كما يؤدي تساقط الأمطار الفجائية في الصحاري المدارية إلى تكوين سيول جارفة تعتبر عاملاً هاماً في تشكيل سطح الأرض في هذه الصحاري.



التعرية بسبب تلاطم الأمواج.

تعرية الأنهار:

دورة التعرية النهرية:

تحدث التعرية النهرية عند تحرك المياه تجاه سطح الصخور (أو الأرض) مما يؤدي إلى حدوث تعرية ميكانيكية.

تدأب الأنهار دائماً على توسيع مجاريها وتعميقها، وهي تعمل بهذا على إحداث تغيرات وتبديلات عديدة في تضاريس قشرة الأرض، تسفر في النهاية عن تخفيض مستوى الأرض المرتفعة وإزالة كل ما بها من تضاريس حتى يتحول سطح الأرض إلى سهل منخفض ذي سطح مستو. فكأن شق الأنهار لمجاريها، وتوسيع جوانب أوديتها يرمي إلى غاية معينة وهدف واحد، ألا وهو بلوغ مقاطع إتزانها وتعادلها. ويطلق على مجموعة التغيرات التي تصيب النهر وحوضه من بداية جريانه على سطح الأرض إلى أن يتم تخفيض الأرض المرتفعة التي تنحدر عليها حتى يصل إلى مستوى السطح، يطلق عليها دورة التعرية النهرية.

التعرية الثلجية:

الجليد المتحرك: ويعتبر هو الآخر عاملاً ً هاماً من عوامل النحت، إذ يساعد ثقله العظيم على نحت الصخور أثناء حركته فوقها. ويختلف أثر الجليد المتحرك في هاذ الصدد عن أثر الرياح لأنه يستطيع أن ينحت سواء كان يحمل من معاول الهدم، أو كان خلوا منها، وذلك لأن الجليد ثقلاً وضغطاً ، وضغط الجليد على الصخور التي تيحرك فوقها، هو الذي يؤدي إلى تفتيتها ونحتها. ويظهر أثر الجليد المتحرك - في نحت الصخور - أكثر ما يظهر في المناطق الجبلية العظيمة الإرتفاع، وذلك لأن البرودة الشديدة في مثل هذه المناطق هي التي تساعد على تكون الجليد وتراكمه.

عمليات النحت تمر بأربع خطوات رئيسية هي:

أولاً: إجتذاب المواد الصخرية المفككة وإكتسابها بواسطة أحد عوامل النحت .

ثانياً: تفكك الصخر وتفتته نتيجة الضغط الواقع عليه من المواد المفككة أثناء حركتها.

ثالثاً: زيادة تفتت المواد الصخرية المفتتة نتيجة إحتكاكها ببعضها البعض الآخر أثناء حركتها،ويتم هذا عادة بطريقة الجر أو السحب أو بطريقة التعلق الإذابة او الطفو.

رابعاً: نقل الحطام الصخري: وفيما يتصل بقدرة امياه الجارية على النحت، نجد أن الخطوة الأولى التي تساعد على إكتساب المواد الصخرية المفككة وإجتذابها، تتم في الواقع بوساطة قوة ضغط المياه التي اطلق عليه الأستاذ الأمريكي "مالوت " إسم الإغتصاب النهري (مشتقة من الكلمتين اللاتينيتين ومعناها نهر والفعل ومعناها يغتصب أو يستولي على). أماالخطوة الأولى التي تبدأ بها عملية النحت بفعل الرياح فتتم بواسطة قوة دفع الرياح التي تسبب التذرية ، كما أن عملية النحت بفعل الجليد المتحرك تبدأ بإكتساب المواد المفككة بقوة ضغط الجليد وثقله على الصخور .

تعرية الريح:



تكوين صخري نحتتها تعرية الريح.

العمليات الأيولية:

يعتبر الهواء هو الآخر عاملاً هاماً يساهم في نحت الصخر وتفتيته، ولاشك في أن الهواء الثابت ليس لهل أثر يذكر في هذا الصدد، فلهواء المتحرك على شكل رياح هو وحده الذي يستطيع النحت والنقل. وتتوقف مقدرة هذا الهواء على النحت على: سرعته، وعلى مقدار ما يدفعه من المواد المفككة، وعلى درجة رطوبته. ويعتبر عامل المواد المفتتة التي تدفعها الرياح أهم هذه العوامل قاطبة، فهذه المواد هي التي تساعدها على النحت، وكلما كان الهواء سريعاً في حركته كان دفعه للمواد المفككة شديداً، ولابد بالضرورة كذلك من أن يزداد ضغط هذه المواد المندفعة على الصخور التي تصطدم بها أثناء إندفاعها مع الهواء، مما يؤدي في النهاية إلى تفككها وتفتتها. كما نلاحظ أيضاً أن الرياح القوية في المناطق الجافة، أقدر على النحت من الرياح الرطبة في المناطق المطيرة، وذلك لأن الهواء الجاف يستطيع إثارة الأتربة والرمال ودغعها معه، وخصوصاً أن الأقاليم الجافة ليس بها من الرطوبة القدر الذي يكفي لتماسك هذه الأتربة والرمال. أما في الجهات الرطبة التي تغزر بها الأمطار، أو ترتفع بها نسبة الرطوبة، أو تغطيتها غطاءات نباتية كثيفة، فلا تستطيع الرياح فيها أن تثير الأتربة أو الرمال، وتصبح مجردة تماماً منمعاول الهدم والنحت مما يؤدي إلأى قلة مقدرتها على النحت.



التعرية السطحية: تحدث نتيجة انجراف الطبقة العليا من التربة بفعل الرياح، مما يتلف الأراضي الزراعية.



التعرية الأخدودية: تتسبب فيها الرياح والأمطار بحيث تتسع المصارف والأنهار مشكِّلة بذلك الأخاديد.



التعرية بفعل المثالج: ويحدث ذلك عبر آلاف السنين، عندما تحرك كتل الجليد ببطء سفوح الجبال.

يمكن أن تكون التعرية إيجابية أو سلبية:

فهي تساعد الناس على الإسهام في تشكيل التربة الناجمة عن تفتت الصخور. كما تشكل تربة خصبة تترسب في الأودية ومَصَبَّات الأنهار. وقد كونت التعرية بعض التشكيلات الجيولوجية الرائعة. فالوادي العظيم (الجراند كانيون) في الولايات المتحدة ـ على سبيل المثال ـ تشكل على مدى ملايين السنين بوساطة التعرية من نهر كولورادو.

أما أبرز الآثار السلبية للتعرية، فسلبها للتربة السطحية الغنية في الأراضي الزراعية. ولهذا تُعَدُّ أحد الأخطار التي تهدد مصادر الغذاء. ويمكن أن تؤدي التعرية إلى غسل الأسمدة من الأراضي الزراعية ونقل المواد الكيميائية التي تسبب التلوث في البحيرات والأنهار. وقد تسد التربة المعراة قنوات الري والبرك والخزانات. وقد تتسَّبب الأخاديد الناشئة عن جريان المياه في تدمير الحقول بجعلها صغيرة جدًا لزراعتها بالجرارات والمعدات الأخرى الحديثة.

التحكم في التعرية:

رغم أن التعرية عملية طبيعية إلا أن الناس يمكن أن يؤثروا في ازديادها. تزيد تعرية التربة، على سبيل المثال، حين تنظف الأراضي وتحرث، لأن الأشجار وبعض النباتات تحمي التربة من الرياح والأمطار.

وتعمل جذور هذه النباتات وبقايا النباتات السابقة على تثبيت التربة في مكانها. وهكذا يمكن للمزارعين الحد من تجريف التربة، وذلك بإبقاء الحقول التي كانت قد زرعت بمثل هذه النباتات الكثيفة النمو في مكانها مثل العشب أو الفصفصة. كما أن هناك العديد من المزارعين الذين عملوا على تقليل نسبة تجريف التربة، وذلك عن طريق استعمال أسلوب معين في صيانة التربة، يتم فيه إبقاء المخلفات السابقة على سطح التربة. وهناك أساليب أخرى لحفظ التربة من الانجراف، من ضمنها الحرث الكونتوري، والزراعة الشريطية، وعمل المصطبات.

الفصل السابع : البراكين



<u>البراكين</u>: وهي عبارة عن تضاريس برية أو بحرية تخرج أو تنبعث منها مواد مصهورة حارة مع أبخرة وغازات مصاحبة لها من أعماق القشرة الأرضية ويحدث ذلك من خلال فوهات أو شقوق. وتتراكم المواد المنصهرة أو تنساب حسب نوعها لتشكل أشكالاً أرضية مختلفة منها التلال المخروطية أو الجبال البركانية العالية كالتي في متنزه يلوستون الوطني بأمريكا الشمالية.



<u>سبب حدوث البركان:</u>

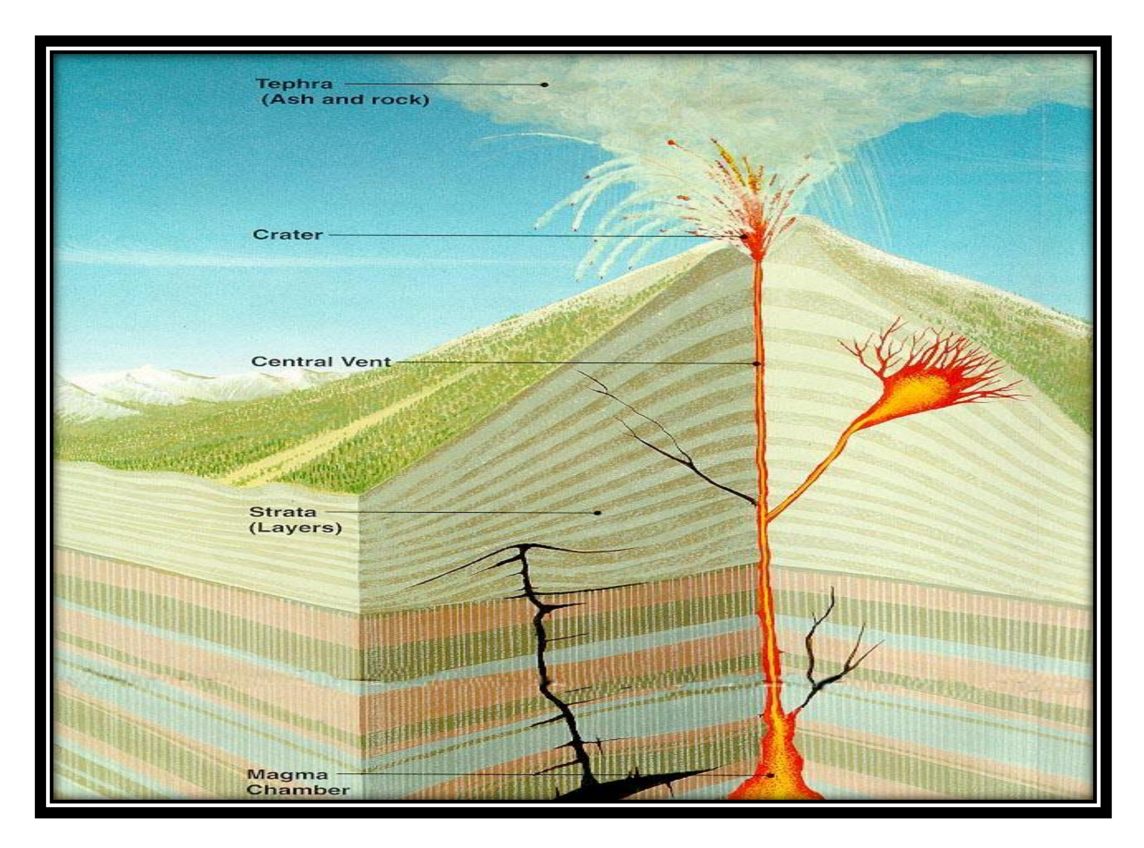
عندما ترتفع درجة الحرارة لدرجة انصهار الصخور في طبقة الأرض السفلى ، تكون ما يسمى بالصهارة magma . تتصاعد الصهارة إلى أعلى كلما وجدت مكاناً لها ، حتى تتجمع في تجويفات أرضية تحت القشرة الأرضية مباشرة. وبارتفاع الضغط على المناطق الضعيفة، يحدث شقوق في القشرة الأرضية . فتندفع الصهارة من خلالها إلى أعلى، وتسيل الحمم البركانية.

تخرج أولاً بشكل انفجار، ويحدث هذا الانفجار بسبب ارتفاع الضغط البخاري للغازات الذائبة داخل الصهارة، وهو ما يؤدي إلى نشر سحب من الرماد البركاني قد تغطي مئات الأميال، وسيلان للحمم قد يصل إلى عدة أميال، ثم ما تلبث أن تقل سرعة سيلانها مع الوقت.وتتشكل خروج الحمم البركانية على عدة أشكال من أكثرها المخاريط البركانية.

الأجزاء الرئيسية للبركان أربعة وهى :

- **المخروط البركاني :** عبارة عن جوانب منحدرة مكونة من الحمم البركانية. وهو سيل الصهارة المواد المعدنية التي يقذفها البركان من فوهته وكانت كلها أو بعضها في حالة منصهرة، واللابة هي الصهارة المنسالة على السطح ثم تصلبت.
- **الفوهة :** فُوَّهة البُرْكان منخفضة على شكل قُمْع أو قَصْعة على أسطح الكواكب أو غيرها من الأجسام الأخرى في المجموعة الشمسية. وتتكون معظم فوّهات البراكين على سطح الأرض بواسطة النشاط البركاني. وتنتج معظم هذه الفوهات البركانية عن التفجيرات التي تنسف الجَمَرات وغيرها من الأنقاض الناشئة عن الانفجارات البركانية. ومن النادر أن يزيد حجم مثل هذه الفوهات عن كيلومترين من جانب إلى آخر. وتتكون الفوهات البركانية الأخرى عندما ينهار سطح الأرض في أعقاب ارتداد الحمم البركانية من أعلى. وقد تكون كل من المنخفض الذي تشغله البحيرة البركانية في أوريغون بالولايات المتحدة وفوهة كيلاويا في هاواي بسبب أحد الانهيارات. وتسمَّى فوهات البراكين الهابطة ذات القطر الذي يزيد على كيلومتر واحد فوهة بركانية ضخمة وتسمى الفوهات البركانية الأقل هبوطًا فوهات صغيرة. وتعتبر الفوهات البركانية أكثر شيوعاً على القمر، وعلى الكواكب الأخرى غير الأرض. ولكن معظم الفوهات البركانية على هذه الأجسام هي فوهات تأثيرية تكونت بفعل تأثير أحجار النيازك.
- **المدخنة :** وهي الأنبوب الذي يصل بين خزان الصهارة تحت الأرض والفوهة والذي تصعد منه الصهارة. وتندفع خلالها المواد البركانية إلى الفوهة. وتعرف أحيانا بعنق البركان. وبجانب المدخنة الرئيسية، قد يكون للبركان عدة مداخن تتصل بالفوهات الثانوية.
- **اللوافظ الغازية :** وهي سحابة الأبخرة والغازات والرماد البركاني.





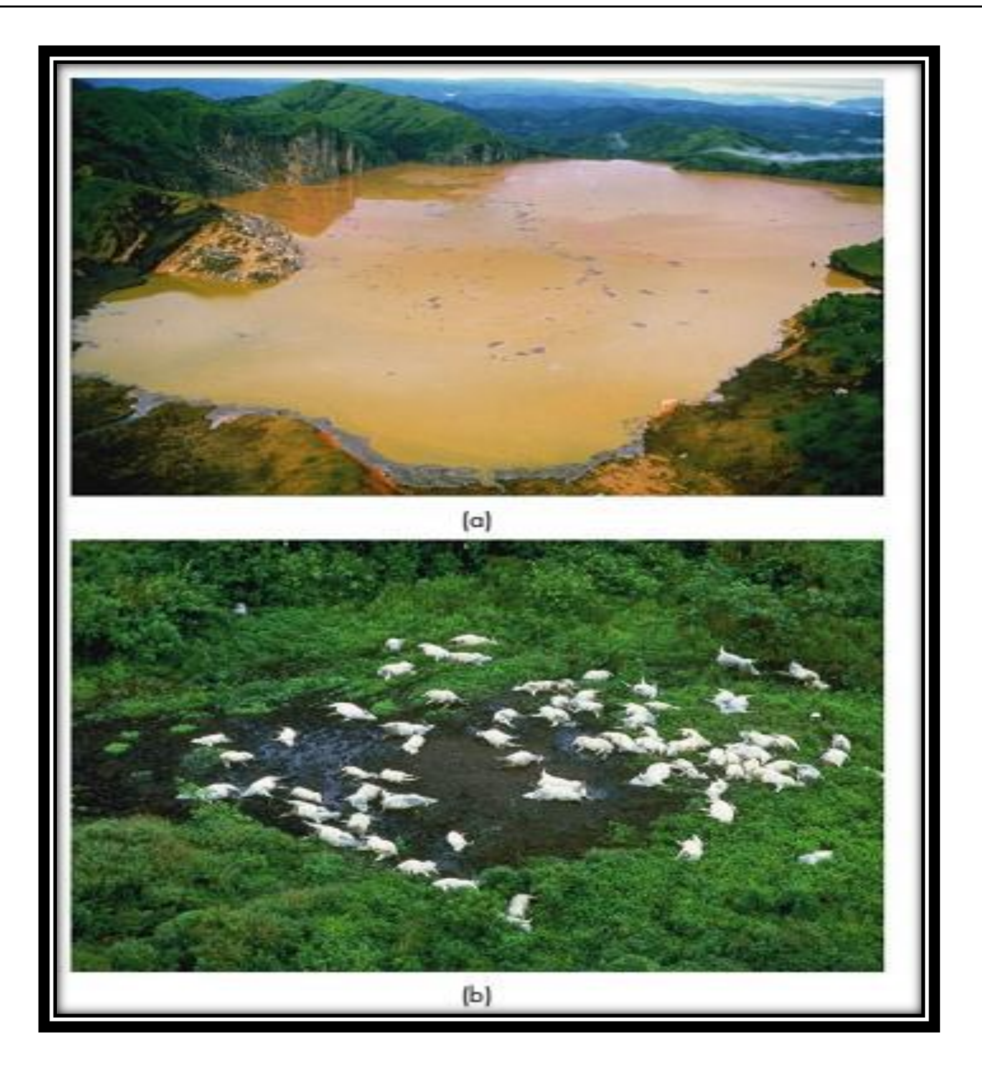
المواد البركانية:

يخرج من البراكين حين ثوراتها حطام صخري صلب ومواد منصهرة (صهارة) وغازات.

- **الحطام الصخري:** ينبثق نتيجة للانفجارات البركانية حطام صخري صلب مختلف الأنواع والأحجام عادة في الفترة الأولى من الثوران البركاني.

ويشتق الحطام الصخري من القشرة المتصلبة التي تنتزع من جدران العنق نتيجة لدفع اللافا والمواد الغازية المنطلقة من الصهير بقوة وعنف ويتركب الحطام الصخري من مواد تختلف في أحجامها منها الكتل الصخرية، والقذائف والجمرات، والرمل والغبار البركاني.

- **الغازات:** تخرج من البراكين أثناء نشاطها غازات بخار الماء، وهو ينبثق بكميات عظيمة مكونا لسحب هائلة يختلط معه فيها الغبار والغازات الأخرى. وتتكاثف هذه الأبخرة مسببة لأمطار غزيرة تتساقط في محيط البركان. ويصاحب الانفجارات وسقوط الأمطار حدوث أضواء كهربائية تنشأ من احتكاك حبيبات الرماد البركاني ببعضها ونتيجة للاضطرابات الجوية، وعدا الأبخرة المائية الشديدة الحرارة، ينفث البركان غازات متعددة أهمها الهيدروجين والكلورين ومركبات الكبريت والنتروجين ومركبات الكربون والأوكسجين.



غاز سام من بركان خامد (a) - قتل الغاز ١٧٠٠ انسان (b) .

- **اللافا:** هي كتل سائلة تلفظها البراكين، وتبلغ درجة حرارتها بين ٨٠٠ درجة مئوية و ١٢٠٠ درجة مئوية. وتنبثق اللافا من فوهة البركان، كما تطفح من خلال الشقوق والكسور في جوانب المخروط البركاني، تلك الكسور التي تنشئها الانفجارات وضغط كتل الصهير، وتتوقف طبيعة اللافا ومظهرها على التركيب الكيماوي لكتل الصهير الذي تنبعث منه **وهي نوعان:**

❖ **لافا خفيفة فاتحة اللون:** وهذه تتميز بعظم لزوجتها، ومن ثم فإنها بطيئة التدفق ومثلها اللافا التي انبثقت من بركان بيلي (في جزر المرتنيك في البحر الكاريبي) عام ١٩٠٢ فقد كانت كثيفة لزجة لدرجة أنها لم تقو على التحرك، وأخذت تتراكم وترتفع مكونة لبرج فوق الفوهة بلغ ارتفاعه نحو ٣٠٠ م، ثم ما لبث بعد ذلك أن تكسر وتحطم نتيجة للانفجارات التي أحدثها خروج الغازات.

❖ **لافا ثقيلة داكنة اللون:** وهي لافا بازلتية، وتتميز بأنها سائلة ومتحركة لدرجة كبيرة، وتنساب في شكل مجاري على منحدرات البركان، وحين تنبثق هذه اللافا من خلال

كسور عظيمة الامتداد فإنها تنتشر فوق مساحات هائلة مكونة لهضاب فسيحة، ومثلها هضبة الحبشة وهضبة الدكن بالهند وهضبة كولومبيا بأمريكا الشمالية.



الحمم البركانية.

<u>المواد البركانية الصلبة:</u> وهي الاجزاء التي تتكون منها الصخور البركانية وهي:

- **<u>المقذوفات البركانية</u>** : وهو تجمد الصهارة والحمم البركانية المقذوفة إلى السطح.



- **المقذوفات البركانية**
- **<u>صخر الخفاف</u>** : عبارة عن رغوة سيليكاتية تتخللها الغازات.
- **<u>رماد بركاني</u>** : ناتج من تفتت وتناثر قمة الصهارة المتجمدة في عنق البركان تحت تأثير الضغط والبخار، وهي تتصلب بسرعة.

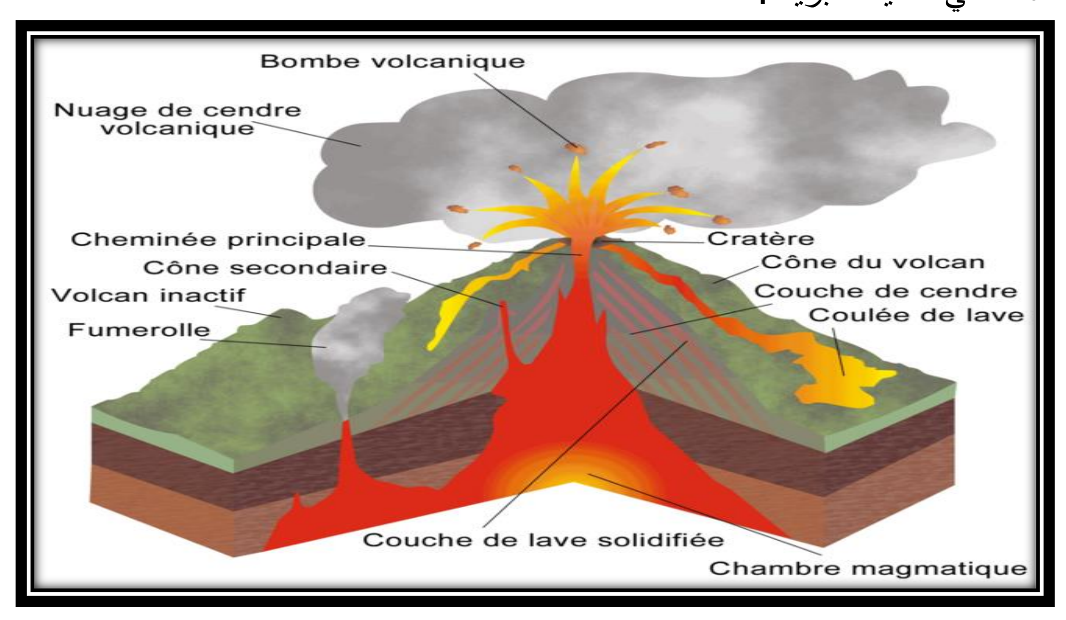


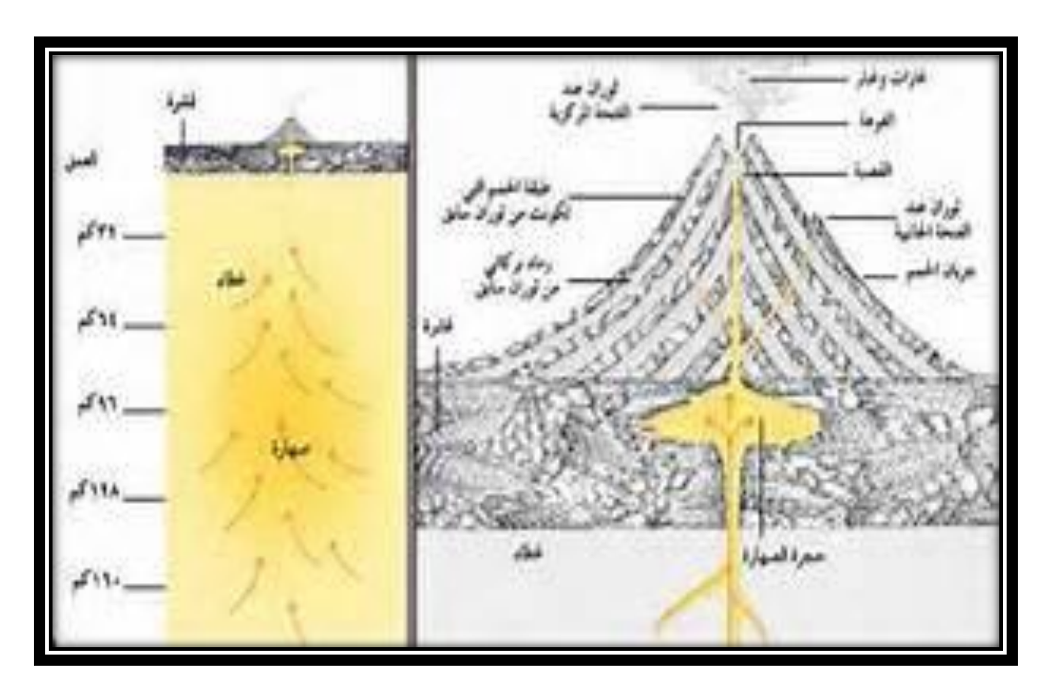
رماد بركاني علي المنازل.

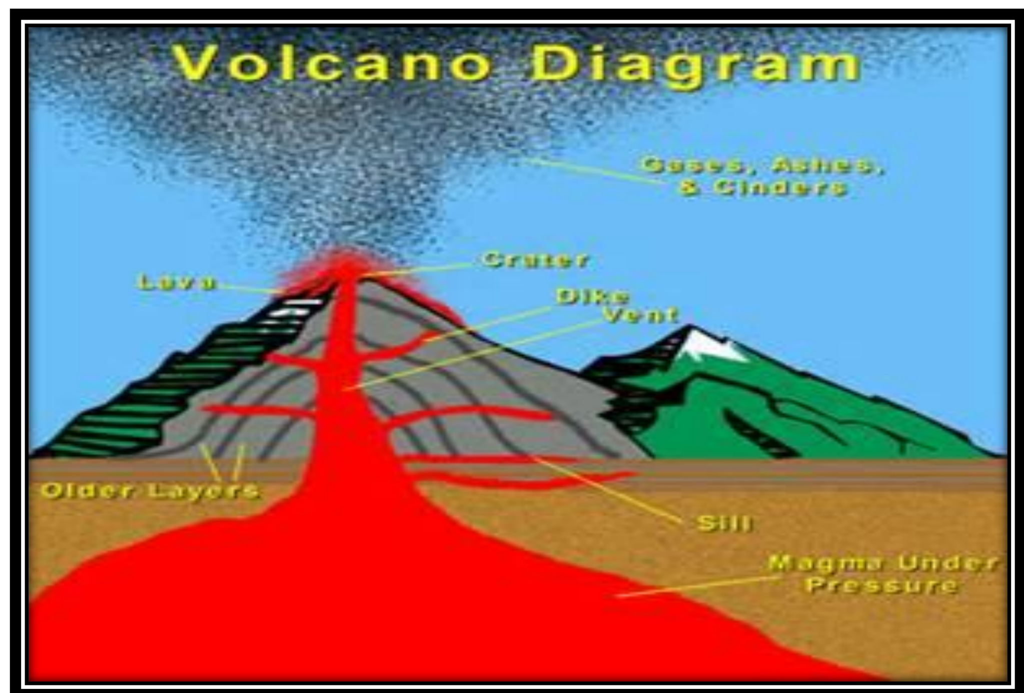
<u>المواد البركانية السائلة الصهارة والحمم (اللابة):</u> تتألف من المواد السائلة من الحمم التي تنساب مشتعلة من فوهة البركان إلى مسافات بعيدة أحيانا ومدى سيولة الحمم يخضع لعدة عوامل. مثل انحدار الأرض، و طبيعة الصهارة واللابة (لزجة أو مائعة) وتعتمد نسبة اللزوجة على نسبة السيليكا، وعلى قوة البركان.

<u>المواد البركانية الغازية</u>: من أهم الغازات المنبعثة من البراكين:

- بخار الماء.
- مركبات الهيدروكربون.
- ثاني أكسيد الكبريت.







أشكال البراكين:

١-براكين الحطام الصخري:

يختلف شكل المخروط البركاني باختلاف المواد التي يتركب منها . فإذا كان المخروط يتركب كلية من الحطام الصخري ، فإننا نجده مرتفعا شديد الانحدار بالنسبة للمساحة التي تشغلها قاعدته . وهنا نجد درجة الانحدار تبلغ ٣٠ درجة وقد تصل أحيانا إلى ٤٠ درجة مئوية وتنشأ هذه الأشكال عادة نتيجة لانفجارات بركانية . وتتمثل في جزر إندونيسيا.

٢- البراكين الهضبية:

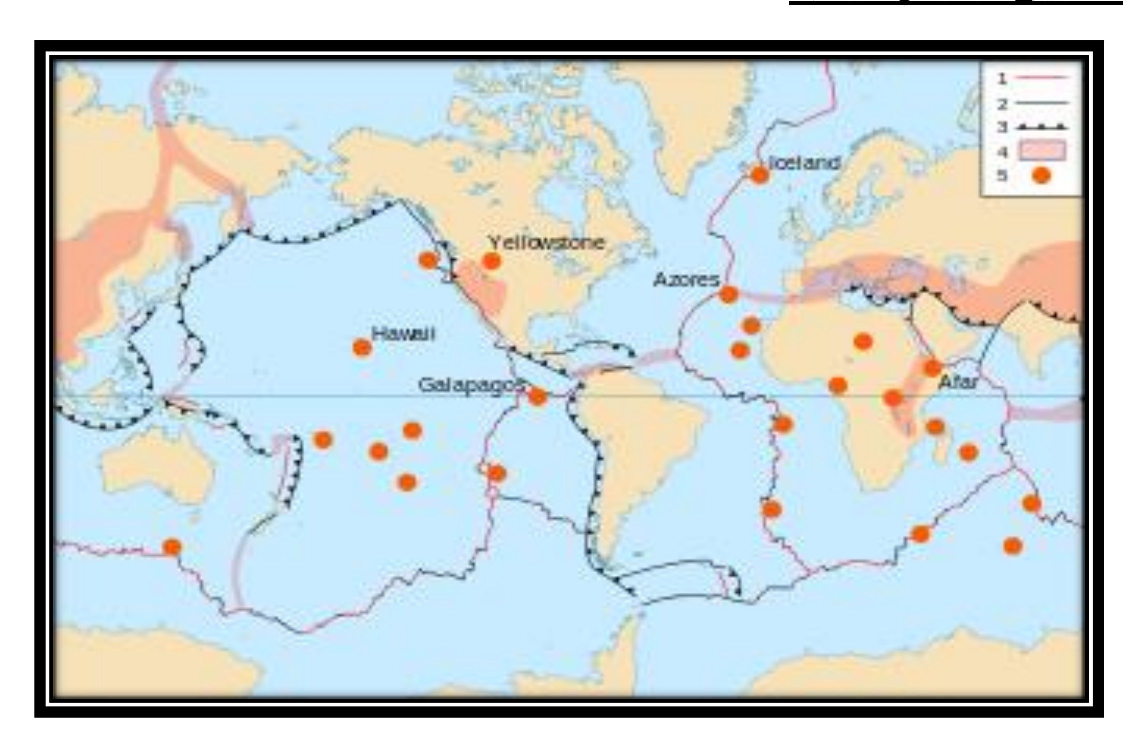
وتنشأ نتيجة لخروج اللافا وتراكمها حول فوهة رئيسية ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التي تشغلها قواعدها . وتبدو قممها أشبه بهضاب محدبة تحدبا هينا ومن هنا جاءت تسميتها بالبراكين الهضبية وقد نشأت هذه المخاريط من تدفق مصهورات اللافا الشديدة الحرارة والعظيمة السيولة والتي انتشرت فوق مساحات واسعة وتتمثل هذه البراكين الهضبية أحسن تمثيل في براكين جزر هاواي كبركان مونالوا الذي يبلغ ارتفاعه ٤١٠٠ م وهو يبدو أشبه بقبة فسيحة تنحدر انحداراً سهلاً هينا.

٣- البراكين الطباقية:

البراكين الطباقية نوع شائع الوجود ، وهي في شكلها وسط النمطين السابقين وتتركب مخروطاتها من مواد الحطام الصخري ومن تدفقات اللافا التي يخرجها البركان حين يهدأ ثورانه.

وتكون اللوافظ التي تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتابعة طبقات بعضها فوق بعض ، ويتألف قسم منها من مواد خشنة وقسم آخر من مواد دقيقة ، وبين هذا وذاك تتداخل اللافا في هيئة أشرطة قليلة السمك. ومن هذا ينشأ نوع من الطباقية في تركيب المخروط ويمثل هذا الشكل بركان مايون أكثر براكين جزر الفليبين نشاطا في الوقت الحاضر.

- التوزيع الجغرافي للبراكين



توزيع "النقط الساخنة" على الأرض.

تنتشر البراكين في نواحي متعددة على سطح الأرض، وهي تتبع في معظم الحالات خطوطا معينة تفصل بين الصفائح التكتونية العظيمة وأظهرها:

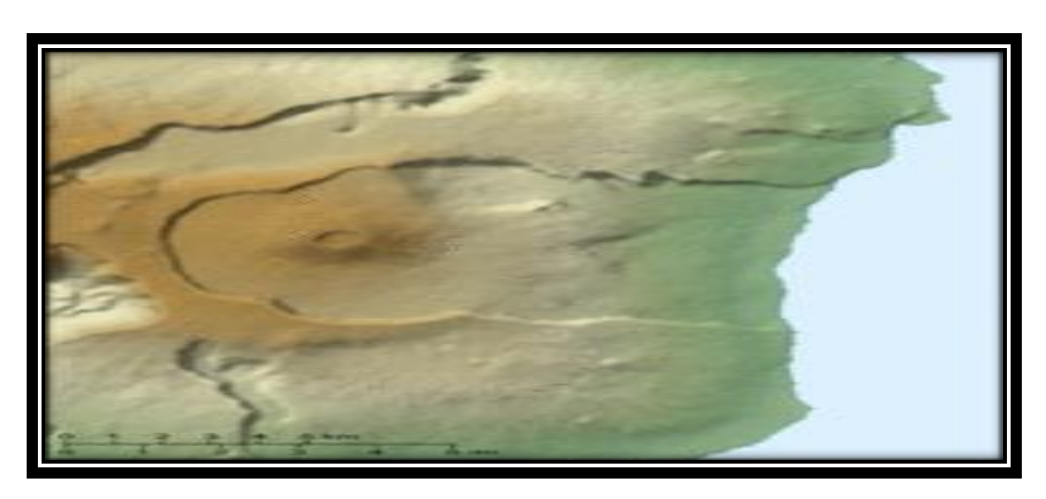
النطاق الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي والذي يعرف أحيانا بحلقة النار، فهو يمتد على السواحل الشرقية من ذلك المحيط فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلى جزر الوشيان ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا إلى جزر اليابان والفليبين ثم إلى جزر إندونيسيا ونيوزيلندا.

يوجد الكثير من البراكين في المحيط الهادي وبعضها ضخم عظيم نشأ في قاعه وظهر شامخا فوق مستوى مياهه. ومنها براكين جزر هاواي التي ترتكز قواعدها في المحيط على عمق نحو ٥٠٠٠ م، وترتفع فوق سطح مياهه أكثر من ٤٠٠٠ م وبذلك يصل ارتفاعها الكلي من قاع المحيط إلى قممها نحو ٩٠٠٠ م.

جنوب أوروبا المطل على البحر المتوسط والجزر المتاخمة له. وأشهر البراكين النشطة فيها بركان فيزوف بالقرب من نابولي بإيطاليا، وبركان إتنا بجزيرة صقلية وأسترو مبولي (منارة البحر المتوسط) في جزر ليباري.

مرتفعات غربي آسيا وأشهر براكينها أرارات واليوزنز.

النطاق الشرقي من أفريقيا وأشهر براكينه كلمنجارو.



مناطق سيل الابه المصاحبة للنشاطات البركانية على جزيرة "ريونيون" الفرنسية ببحر الكاريبيك بين عامي ١٩٧٢ و ٢٠٠٠. البراكين الدائمة الثوران قليلة جداً على سطح الأرض، ومنها بركان سترمبولي، في جزر ليباري، قرب جزيرة صقلية، المعروف بمنارة حوض البحر الأبيض المتوسط. أمّا البراكين المتقطعة الثوران أو الهادئة نسبياً فهي الشائعة على سطح الأرض، حيث يخمد النشاط البركاني فترة من الزمن، ثم يتجدد من جديد خلال فترة أخرى، ومنها بركان أتنا في جزيرة صقلية.

وهناك البراكين الخامدة، وفيها انخمد النشاط البركاني تماماً منذ فترة زمنية طويلة، وأصبحت عرضة لنحت عوامل التعرية، التي تنحت جوانب المخروط البركاني؛ ومن أمثلة الهياكل البركانية: شيبروك في المكسيك، وديفلزتور (برج الشيطان)، في ولاية وايومنغ في الولايات المتحدة الأمريكية. يُقدر عدد البراكين النشيطة بحوالي ٦٠٠ بركان موزعة على سطح الأرض، ويتركز معظمها في أحزمة توازي تقريبا مناطق الشقوق والتكسرات والفوالق الطبيعية متوزعة بمحاذاة سلاسل الجبال حديثة التكوين.

وهناك توزيعان كبيران للبراكين :

الأول: "دائرة الحزام الناري"، وتقع في المحيط الهادي.

الثاني: يبدأ من منطقة بلوشستان إلى إيران، آسيا الصغرى، البحر الأبيض المتوسط ليصل على جزر آزور وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة. وفيما يلي بعض أسماء البراكين في هذه المناطق:

المكسيك: ١٠ براكين منها باريكوتين الذي ثار لأول مرة سنة ١٩٣٤.

أمريكا الجنوبية : ٢

نيوزيلاند : ٦.براكين

جوانا الجديدة: ٣٠ بركانا.

الفليبين : ٢٠ بركانا.

اليابان : ٤٠ بركانا.

منطقة محور البحر الأبيض المتوسط:

من جهة الغرب إلى الشرق نجد البراكين التالية في هذه المنطقة :

الآزور : ٥ براكين.

الكناري :٣ براكين.

إيطاليا : ١٥ بركانا ومنها بركان فيزوف وسترومبولي الانفجاري وفولكانو.

منطقة الأدرياتيك : ٩ براكين ومنها جبل بيليه Pelee.

المنطقة العربية وآسيا الصغرى : ٦ براكين منها جبل العرب الانفجاري في سورية.

منطقة الأخدود الأفريقي:

هاواي: ٥ براكين

جزر غالاباغوس: ٣ براكين.

أيسلندا : ٢٧ بركانا.

أفريقيا الوسطى: ٥ براكين.

أفريقيا الشرقية : ١٩ بركانا.

المحيط الهادئ:

آلاسكا : ٢٠ بركانا منها بركان كاتاماي، وشيش الدين

كندا : ٥ براكين منها رانجل

الولايات المتحدة الأمريكية : ٨ براكين ومنها راينر البركان هو تضاريس برية أو بحرية تخرج أو تنبعث منه قوق. وتتراكم الصهارة أو تنساب حسب نوعها لتشكل أشكالا أرضية مختلفة منها الجبال المخروطية- البركانية العالية المشهورة.



تصنيف البراكين:

يصنف العلماء البراكين إلى حية وميتة ،حيث إن البراكين الحية هي التي يحتمل أن تثور في المستقبل، والميتة هي التي لن تثور مرةً أخرى أبداً. وقد يكون البركان الحي نشطاً أو ساكناً ،فحينما يثور يكون في حالة نشـاط وعندما لا يثـور يكون سـاكناً.

١ـ البركان النشط:

عندما يكون البركان ثائرا أو تظهر به علامات النشاط من حدوث زلازل أو انبعاثات غازية.

٢-البركان الساكن:

عندما لا تظهر علامات نشاط على البركان، ولكن بإمكانه الانفجار، وقد يكون ثار بالفعل في خلال العشرة آلاف سنة الماضية.

٣- البركان الهامد:

عندما يكون البركان لم ينفجر خلال العشرة آلاف عام الأخيرة أو يكون البركان قد تخلص تماما من إمدادات الصهارة به

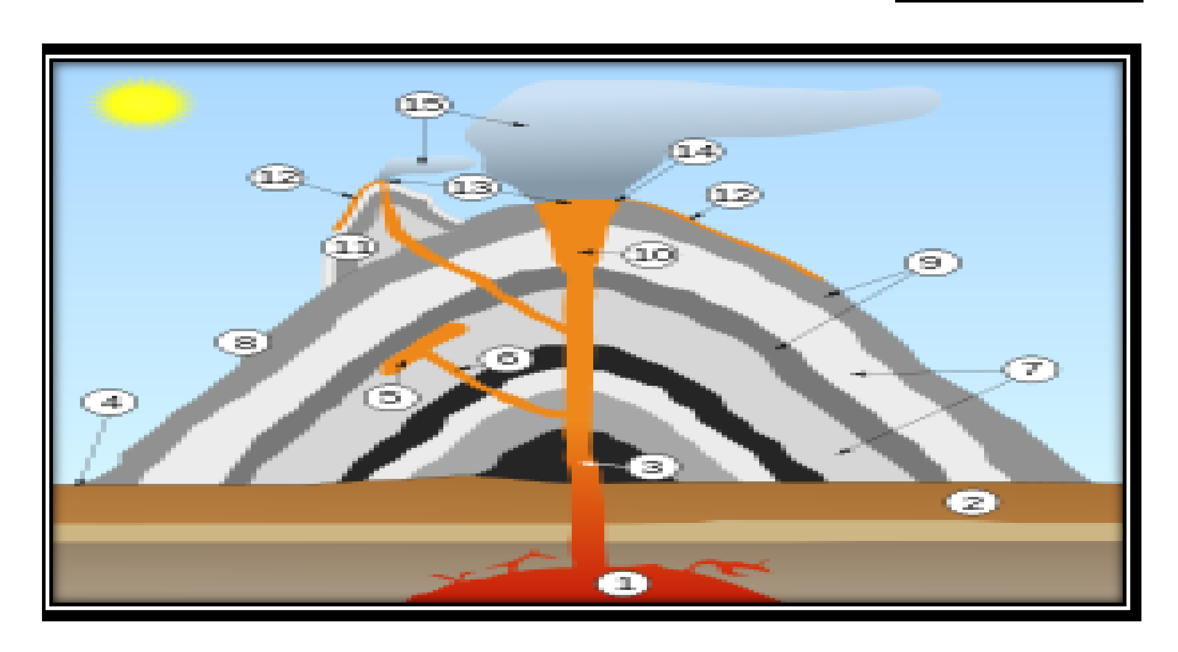
في كل يوم يحدث زلزال، أو يثور بركان في مكان ما من العالم، أثناء الزلازل تهتز الأرض وتتحرك، وعندما تثور البراكين ينفجر الصخر الأحمر الحـار والرماد من الأرض، ويوجد كثير من البراكين في مختلف أنحاء المعمورة ،كما يوجد كثير منها أسفل المحيطات فوق القاع. ولحسن الحظ فإن معظم الزلازل وانفجارات البراكين لا تسبب أذى للناس. فغالبية الزلازل صغيرة جداً، ونحن نعلم بهذه الزلازل عن طريق أجهزة العلماء الدقيقة شديدة الحساسية ؛ لأنها تستطيع قياس أقل الحركات الأرضية، وهناك انفجارات بركـانية تحدث بشكل دائم فوق قيعان المحيطات، إلا أنها بعيدة في العمق بحيث لا تؤثر على النـاس، ومع ذلك نجد أن خبراً يتـعلق بزلزال أو انفجار بركاني يتصدر العناوين الرئيسية للأخبار.

عند وقوع زلزال كبير أو انفجار بركاني بالقرب من الأماكن التي يعيش فيها الناس، حيث يصاب كثير منهم بأضرار جسمانية وقد يلاقي منهم الموت تحت أنقاض المباني. ففي عام ١٩٧٦ م مـات نصف مليون شخص في الصين عند وقوع عدد من الزلازل الكبيرة. وفي عام١٨٨٣ م انفجر بركان في اندونيسيا أطلق علـيه كراكاتوا وقتل ما يزيد على ستة وثلاثين ألف شخص.

وقع أسوأ جزء من الانفجار البركاني في ٢٧ أغسطس حيث وصل الرماد إلى علو ٨٠ كيلو متر، والناس المقيمين في الجزر المجاورة لم يروا أي ضوء للشمس مدة يومين ونصف.وأصبح البركان الآن ينفجر بصورة مستمرة، ثم وقع انفجار ضخم كان أقوى انفجار سمعه الناس على وجه الأرض، ولدى ارتطام الصخر الأحمر الحار بالبحر المحيط بالجزيرة، تولدت أمواج ضـخمة أطلق عليها اسم ((تسو نامي) وقد غمرت الجزرالمجاورة وأغرقت ما يزيد عن ٣٦٠٠٠ شخص. عند انتهاء ثورة البركان كانت كراكاتو قد اختفت تماماً تحت الأمواج، وظهر مكانها جزيرة تتكون من الحمم التي انبعثت من سطح الأرض. في عام ١٩٦٣ م ولدت جزيرة جديدة بالقرب من سـاحل إيسلندة.وحدث ذلك عندما دفع أحد الانفجارات البركانية في قاع البحر بالحمم إلى مافـوق سطح البحر، واستمر تدفق هذه الحمم مدة ثمانية عشر شهراً وأخذت الجزيرة تكبرحتى وصلت مساحتها ٢,٥ كيلومتر مربع وأطلق عليها اسم {سورتسي}. إن هذه الجزيرة الجديدة مهمة جداً بالنسبة للعلماء ؛ ولذا لم يسمح إلا لأناس قليلين بزيارتها، فقد أرادوا دراسة ما حدث بعناية كبيرة، وكانت أولى النبات التي ظهرت في الجزيرة هي نبتة صاروخ البحر وعشب اللايم ونبات الرئة ونبات البحر.وبعض بذور هذه النباتات حمل إلى الجزيرة بواسطة البحر، كما أن طيور النورس والإوز حملت البذور أيضاً على أقدامها وعلى ريشها.

ارتبط البركان في المخيلة البشرية عبر التاريخ كونه جبل مخروطي الشكل، تخرج من قمته نار ودخان وحمم، ورغم أن بعض البراكين تكون كذلك إلا أن كثيراً من الانفجارات البركانية مختلفة عن ذلك تماماً، فبعض هذه الانفجارات يخرج من خلال فتحات موجودة في الأرض، تعرف بالفجوات وبعضها يخرج من خلال فتحات طويلة موجودة في سطح الأرض تعرف بالشقوق. هناك بعض البراكين لا تطلق ألسنة من اللهب، فكثير منها يطلق سحباً من البخار والغاز تعرف بالأبخرة والدخان. ويتكون الدخان من قطع صخر ورماد متناهية في الصغر.

الانفجارات البركانية:



مقطع خلال بركان طبقي:

١. مخزن الصهارة
٢. طبقة أرض
٣. المدخن
٤. سطح الأرض
٥. جيب بركاني
٦. جيب نافذ
٧. طبقات من الرماد
٨. جانب
٩.طبقات من الصخور والفحم
١٠. عنق
١١. مخروط طفيلي
١٢. سيل الصهارة
١٣. مدخنة
١٤. فوهة
١٥. لوافظ غازية وبخار وغبار بركاني رماد.

تحدث الانفجارات البركانية عند تدفق الصخر الأحمر الحار من أعماق جوف الأرض، وينسكب على قاع المحيط أو على السطح، حيث يخرج هذا الصخر حارا جدا إلى درجة السيولة ،ويسمى بالصخر المذاب. وإذا كان الصخر المذاب يتدفق تحت سطح الأرض فإنه يسمى

الصهارة، وإن كان يتدفق خارجاً من البركان فيسمى الحمم{اللافا} ،وعندما تبرد الحمم تتحول إلى صخر صلب أسود {يسمى الحمم أيضاً}. تحوي الصهارة كثيراً من الغازات وهي التي تسبب الانفجارات عند ثورة البراكين، ويقسم العلماء الانفجارات البركانية إلى أنواع مختلفة ثلاثة منها رئيسية هي :

١- الهاواي: في الانفجار الهاواي تكون الصهارة رقيقة القوام سائلة حيث يمكن للغازات المختلطة بها أن تتسرب بسهولة ؛ لذلك لا تحدث انفجارات عنيفة.

٢- السترومبولي: في الانفجار السترومبولي تكون الصهارة ذات قوام أقل رقة من الصهارة الموجودة في الانفجار الهاواي، وهذا يعني أن الغازات المختلطة بها لا تستطيع مفارقتها بسهولة ،وأنه سيكون هناك انفجارات عنيفة. وتخرج الحمم في شكل نافورة نار صفراء ضخمة.وتقذف الفجوة كتلاً كبيرة من الصخر، وتتساقط تلك الكتل حول الفجوة وتأخذ شكلًا مخروطياً.

٣- البليني: في الانفجار البليني تكون الصهارة غليظة القوام، فيكون من الصعب هروب الغازات فتتراكم تحت الأرض.ويؤدي الضغط إلى دفع الصخر إلى أعلى، وفي نهاية الأمر تنفجر الغازات بعنف خارجة من الصخر ،وتؤدي قوة الانفجار إلى تكوين عمود من الغاز يزيد ارتفاعه (٢) كيلومتراً. وعندما ينفجر الغاز فإنه يهشم الصهارة إلى قطع صغيرة ويقذفها عالياً مع عمود الغاز، وعندما تبرد قطع الصهارة هذه تتحول إلى حجر أبيض يسمى الخفاف.

الصخور البركانية:

هناك نوعان من الصخور البركانية هي:

١- **البيروكلاستيكي**: أو(المكسر).

٢- **البيروكلاستيكي** : أو (الغير مكسر). وقد جاءت كلمة بيروكلاستكي من الكلمتين الإغريقيتين بيرو (بمعنى النار) وكلمة كلاستك (بمعنى مكسور). تتكون الصخور غير البيروكلاستيكية عندما تأخذ الحمم في البرودة. والحمم تأخذ أشكالاً مختلفة عندما تبرد، حيث يكون للحمم من نوع Aa سطح خشن بعد أن تبرد، في حين يكون للحمم من نوع باهوهو سطح أملس يشبه الحبال، وقد جاء كلا الاسمين من هاواي. وعندما تبرد الحمم تحت الماء فإنها تشكل حمماً وسادية.

تتكون الصخور البيروكلاستيكية من الصخور المقذوفة خارج البركان أثناء ثورانه، وفي بعض الأحيان تكون هذه الصخور لحظة ارتطامها بالأرض حارة إلى درجة أنها تتماسك مع بعضها فتشكل صخراً صلباً.

المخاريط وفوهة البركان: ولقد رأينا أن الصخر والرماد الخارجين بفعل الانفجارات العنيفة يكونان مخاريط منحدرة، وفي بعض الأحيان تنهار هذه المخاريط مخلفة فوهة تسمى (كالديرا)، ويحدث هذا في حالة الانفجار البليني. وتستنفد قوة الانفجار كل الصهارة الموجودة تحت البركان

بسرعة كبيرة. الأمر الذي يترك حفرة تحت الجزء العلوي من المخروط ،وفي حالـة استمرار ثوران البركان تنهار الفوهة إلى الداخل، وبهذه الكيفية اختفى بركان (كراكاتوا). يبلغ قطر بعض الكالديرات بضعة كيلومترات.وبعضها يكون ضخماً، فمثلاً يبلغ قطر الكاديرا في نيومكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية ٢٣ كيلومتر.

فيزوف يثور: وضع أحد كتاب الرومان القدامى أول مخطوط مفصـل لانفجار بركاني، فقد راقب بليني الأصغر انفجار بركان فيزوف في جنوب غرب إيطاليا سنة(٧٩ م) ومات عمه بليني الأكبر أثناء الانفجار. ثار بركان فيزوف فجأة في أغسطس عام (٧٩ م)، وخلال ساعات كانت مدينة بومبي ومدينة ستاباي مغطاتين بالخفاف الأبيض ،وعند بدء انفجـار البركان كان بليني مقيماً في مدينة ميسينا مع والدته وعمه، وتبعد هـذه المدينة عن البركان حوالي (٣٠ كيلو متر) أي أنها خارج نطاق الأضـرار، ويقول بليني في رسالة كتبها إلى أحد أصدقائه: {في ظهيرة يوم ٢٤أغسطس لفتت والدتي انتباه عمي إلى سـحابة سوداء كبيرة. فأمر بإعداد قارب له (ليستطيع الاقتراب من فيزوف).وبينما هو يهم بالمغادرة سلمت إليه رسالة من ركيتينا التي كان بيتها واقعاً على سفح فيزوف وهي تتوسل فيها إليه أن يسارع لإنقاذها، ولدى علمه بالأمر صـرف النظر عن رحلته العلمية وجعلها رحلة إغاثة ،فأمر السفن الحربية بالإقلاع على الفور. كان كل شخص يغادر منطقة الخطر التي أبحر إليـها هو بشجاعة. وعند اقتراب السفن من شاطئ بومبي كان الرماد يتساقط بغزارة متبوعـاً بشظايا الخفاف والأحجار المتفحمة.اكتظ الشاطئ بالحـطام إلى درجـة اضطروا معها إلى تحويل اتجاههم نحو ستاباي. وما إن وصلوا حتى كانت الزلازل تهز المبنى، وتمتلئ السـاحة التي كانوا يقفون فيها بالرماد بسرعة، فعادوا إلى الشـاطئ رابطين على رؤوسهم الوسائد لحمايتها من الحطام المتساقط حيث أرادوا تقصي إمكانية هربهم عن طريق البحر فرأوه هائجاً خطراً، ووضعت ملاءة على الأرض لعمي ليستريح عليها، وسرعان ما جاءت رائحة الكبريت منذرة بقرب نشوب حريق، ونهض عمي متكأً على اثنين من خادميه ثم انهار فجأة ربما لأن الأبخرة الكثيفة سدت قصبته الهوائية}.وعثر بليني على جثة عمه بعد يومين.لقد مكثت مدينة بومبي مغطاة بالخفاف لعدة قرون. وفي سنة ١٧٤٨ م شرع الناس في الحفر للكشف عن المباني المدمرة. واليـوم تستطيع أن تمشي بين أطلال معظم أرجاء مدينة بومبي.

النشاط البركاني:

المنافذ البركانية الصغيرة:

تتسـرب الغازات من الأرض في بعض الأماكن طوال الوقت، ولـيس فقطأثناء انفجار البركـان، وتخرج هذه الغـازات من خلال ثقوب تسمى المنافذالبركانية الصغيرة، وتوجد هذه المنافذ في المناطق المتاخمة للبراكين، ويقوم العلماء بدراسـة الغازات الخارجة من هذه المنـافذ لمعـرفة ما يجري تحت البركان، و يأملون أن يصبحـوا قادرين علـى استخدام المعلومات التي يحصلون عليها للتنبؤ بموعد انفجاره التالي.

تحوي الغازات الآتية من المنافذ البركانية الماء وثاني أكسيد الكربون وأملاحاً كثيرة من معادن مختلفة، تتجمع هذه الأملاح حول المنافذ فتلون الأرض، فالكبريت يلونها باللون الأصفر، والكلوريد باللون الأبيض، تشمل الألوان الأخرى النحاس مع النيكل باللون الأخضر والكوبالت مع الرصاص بلون قرنفلي _أزرق ،والمنجنيز مع الزنك بلون قرنفلي. كما أن الكبريت يجعل للمنافذ رائحة كريهة كرائحة البيض الفاسد.

ينابيع وفوهات المياه الساخنة:

في المناطق البركانية يخرج الماء الحار من أعماق الأرض، فهو يسخن أثناء تدفقه فوق الصخور الحارة الموجودة تحت الأرض ويحوي على الغاز، وحيثما تكون كمية الغاز كبيرة يفور الماء على شكل ينابيع حارة.

وينطلق الماء في بعض الأماكن على شكل ينابيع ونوافير تسمى فوارات المياه الساخنة ،ومن أفضل الأمثلة على ينابيع وفوارات المياه الساخنة الموجودة في العالم هي تلك التي في يلوستون بالولايات المتحدة الأمريكية، وروترروا في نيوزيلندة. ويوجد في منتزه يلستون ما يقرب من ١٠٠٠٠ ينبوع حار.

تعريف ثاني للبراكين:

البركان كما نعرفه شق في صخور القشرة تنبعث من فوهته حمماً ملتهبة ومواد صلبة وغازية منبعثة من باطن الأرض عبر المدخنة حتى تخرج من الفوهة، تزيد درجة حرارتها عن ١٢٠٠ مْ.

كيف تصعد الصهارة إلى سطح الأرض ؟

تقع الصهارة تحت عدة عوامل، هي :

١- الحـرارة.

٢- ضغط صخور القشرة الأرضية.

٣- ضغط الكميات الهائلة من الغازات والأبخرة المحصورة.

فعندما تنشق القشرة الأرضية في مكان ما من أمكنة الضعف فيها، تندفع الصهارة في شق تحت تأثير ضغط الغازات المرتفع، وتتفجر حمماً على سطح الأرض. وعندما تبرد الحمم وتتصلب، تكون ما يعرف بالصخور البركانية.

المظهر العام للبراكين:

تتدفق الصهارة في الحالات العمة للبراكين من فتحة في قمة البركان تدعى فوهة البركان وفي البراكين الخامدة تكون الفوهة عبارة عن منخفض عميق، له انحدار شديد وتتراكم المواد

البركانية حول فوهة البركان ،على هيئة جبل مخروطي الشكل. وفي البراكين الخامدة تتحول الفوهات إلى بحيرات ماء البحيرات من السوائل الحمضية والمياه المعدنية الكبريتية.

وللبركان في بعض الحالات فوهات ثانوية على سفح الجبل، وهذا دليل على قوة ضغط الصهارة المتصاعدة، وضيق عنق الفوهة الرئيسة أو انسداده.و إذا لم تنفتح فوهة جانبية لتنفيس ضغط الصهارة، فقد ينفجر الجبل البركاني، ويتكون مخروط جديد في داخل فجوته.

ملاجئ ضد البراكين :

لقد أصبح بوسع العلماء التنبؤ بصورة تقريبية عن مكان تدفق الحمم عند انفجار البركان.فهي تنحدر نحو الوديان والأراضي المنخفضة.وعليه يجب عدم إنشاء المدن والقرى في تلك الأماكن قرب بركان نشط. ويعد الرماد المتساقط مشكلة أخرى، ففي المواضع القريبة من البركان يجب أن تكون المنازل ذات أسطح مائلة حتى ينزلق الرماد عنها.

آثار البراكين :

ليس صعباً على من رأى بركاناً ثائراً أن يتصور مدى الدمار والهلاك الذي تحدثه الحمم البركانية إذا ما أصابت المناطق العمرانية. ولا تقتصر آثار البراكين على منطقة البركان فحسب، بل قد تتعداها إلى مناطق مجاورة أو حتى بعيدة جداً.

بعض الأمثلة على آثار البراكين :

١- **الفتك بالناس :** إن تاريخ البراكين حافل بعشرات الآلاف من الضحايا فقد فتك بركان كراكاتو، ما بين جاوة سومطرة، بما يزيد على ٣٦٠٠٠ نسمة.

٢- **تدمير العمران** : تتعرض القرى والمدن في مناطق البراكين إلى التدمير تام، أو إلى القذائف أو الرماد البركاني.ومن الأمثلة على ذلك بركان فيزوف الذي طمر مدينة بومبي في إيطاليا سنة ٧٩ م ودمرها بكاملها.

٣- **تغيير معالم الطبيعة** : لقد كون فيضان اللابة{الحمم} ،قبل حوالي ١٥ مليون سنة، في منطقة كولومبيا، شمال غرب أمريكا الجنوبية ،هضبة بازلتية تزيد مساحتها عن ٥٠٠٠٠٠ كم مربع وتكونت هضبة مماثلة لها في الهند. وكثيراً ما تجري اللابة في الوديان وتملؤها، أو تحول مجاري الأنهار.وقد نسف بركان كراكاتوا جبلاً وثلثي جزيرة جاوة.وغارت فوهة البركان تحت سطح البحر.

٤- **اضطراب المناخ** : دلت الأبحاث على أن المناخ يضطرب بشكل بارز من جراء النشاط البركاني، لأن الغبار والرماد الذي ينفثه البركان، إما أنه يحجب أشعة الشمس، أو أنه يمتص نسبة منها، مما يؤدي إلى برودة في الجو.وقد عزي الطقس البارد الذي ساد القارة الأمريكية في العام ١٧٨٣ _١٧٨٤ إلى النشاط البركاني في كل من اليابان وأيسلندة في العام ١٧٨٣ م.

هل للبراكين تأثيرات نافعة؟

للبراكين بعض المنافع في بعض الأحيان، غير أن الأضرار الرهيبة التي تحدثها، تجعل منافعها محدودة بالمقارنة.

ومن أهم الآثار الإيجابية للبراكين ما يلي :

١- إن المواد البركانية غنية بالمعادن المفيدة للصناعة والزراعة مثل: البوتاسيوم والحديد والكبريت.ومن المعلوم أن التربة الغنية بالرماد البركاني من أخصب أنواع التربة .

٢-تستخدم مياه الينابيع الحارة، التي تنفجر نتيجة النشاط البركاني في التطبيب و الاستشفاء من الأمراض الجلدية والروماتيزم.مثل: (عين نجم بالإحساء).

٣- تستخدم المياه الحارة المنبثقة من جوانب البركان كمصدر للطاقة أحياناً وقد استخدمت مثل هذه المياه في أيسلندة في الأغراض الزراعيـة، وذلـك بإيصالها داخل أنابين إلى مزارع خاصة مكيفة للحصول علـى النبـاتـات الاستوائية.وفي إيطاليا استعمل الدخان الأسود الناتج من الفتحـات الغـائرة تحت سطح الأرض في تشغيل المولدات الكهـربائية.

٤- تكون فوهات البراكين بحيرات مياه قد يزيد قطرها على ٣ كيلومترات، أو بحيرات مواد كيميائية كالأحماض التي تعتبر ثروة طبيعية في حـد ذاتـها.

٥- بناء أجزاء شاسعة من الأرض مثل هضبة الدكن بالهند وهضبة نهـر كولومبيا بأمريكا الجنوبية.

٦- من مخرجات البراكين الهامة الكبريت والذي ينتج من تكثف ثـم تجمد الغازات الكبريتية المتصاعدة في الغازات البركانية.



فوهة بركان كاتيافي أريزونا الأمريكية



لوحة فنية من القرن الثامن عشر تصور ثوران أحد البراكين



جزيرة بركانية

هنا يبرز السؤال: لماذا لا توجد البراكين موزعة عشوائيا في مختلف أنحاء العالم؟، ولماذا هى شائعة في مناطق أكثر من أخرى؟

وللإجابة على هذه الأسئلة وغيرها حول موضوع البراكين، كان هذا الفصل الذي يتناول التبركن، وهى العملية التي تصعد بها الصهارة من داخل الأرض خلال القشرة الأرضية لتظهر على السطح على هيئة لابة، وتبرد لتكون صخرا بركانيا صلبا. وتكون الصخور البركانية نحو٨٠% من القشرة الأرضية، سواء كانت محيطية أو قارية.

وسوف نتناول في هذا الفصل أيضا الأنواع الرئيسية للابات، وأنواع الثورات والملامح التضاريسية التي تكونها، وأنواع التلوث البيئي التي تسببها البراكين، حيث يمكن اعتبار البراكين نافذة يمكن من خلالها ملاحظة باطن الأرض. كما سنوضح في هذا الفصل معظم البراكين عند حواف الألواح، مع وجود القليل منها فوق النقاط الساخنة داخل الألواح. وفي النهاية، سنناقش كيفية التحكم في الطاقة التدميرية للبراكين، والاستفادة من الطاقة الحرارية الناشئة عنها والعناصر الكيميائية المصاحبة لها.

– مصدر اللابات:

روعت ثورات البراكين والمواد المصاحبة لها قدامى الفلاسفة، مماحدا بهم لنسج الأساطير عن عالم شيطاني ساخن تحت سطح الأرض. وقد كانت فكرة القدامى صحيحة، حيث لا يجد الجيولوجيون الآن دليلا على طبيعة الحرارة الداخلية للأرض غير البراكين.

وتظهر نتائج تسجيل درجات الحرارة أثناء حفر الآبار العميقة في الأرض (نحو ١٠كم) أن درجة حرارة الأرض تزداد بزيادة العمق، حيث ترتفع درجة الحرارة بمعدل ٣٠م لكل كيلومتر عمقا. ويعتقد الآن أن درجات الحرارة تصل إلي ١١٠٠م وإلي ١٢٠٠م عند أعماق الغلاف اللدن (الأستينوسفير)، والذي يمتد من نحو ١٠٠ إلي ٣٥٠ كم. وهى درجة حرارة عالية بما يكفي لأن تبدأ عندها الصخور في الانصهار. ولذلك يعتقد االجيولوجيون أن الغلاف اللدن هو المصدر الرئيسي للصهارة، وهى الصخور المنصهرة تحت سطح الأرض، والتي تعرف باللابة عندما تنبثق فوق سطح الأرض. ويستخدم مصطلح اللابة للدلالة أيضا على الصخر الذي تصلدت منه. كما يعتقد أن الانصهار الجزئي لبعض أجزاء الغلاف الصخري الصلب الذي يعلو الغلاف اللدن هو مصدر آخر للصهارة. وتصعد الصهارة كما لوكانت تطفو، لأن كثافة الأجزاء المنصهرة عند هذه الحرارة تكون أقل من كثافة الصخور

المحيطة المتبقية. وتضغط الصخور المحيطة الأكثر كثافة على الصهير لتعصره وتدفعه إلي أعلى. كما قد يجد الصهير طريقة إلي سطح الأرض خلال كسور الغلاف الصخري، أو بصهر الصخور. وقد تصل بعض الصهارة في النهاية إلي سطح الأرض وتنبثق على هيئة لابة.

والبركان مصطلح مشتق من اسم إله النار عند الرومان والمسمى فولكان، وهو عبارة عن تل أوجبل، يأخذ عادة شكلا مخروطيا، تكون من تراكم مواد تنبثق على سطح الأرض. ويوضح النظام الموجود بالبراكين، والذي يشبه نظام خطوط أنابيب المياه، والذي يؤدي إلي دفع الصخور المنصهرة في الأعماق من غرفة الصهارة، وينشيء مخرجا لها عند سطح الأرض، تصعد منه الصهارة خلال قناة تشبه الأنبوب تعرف بالعنق المركزي (مخرج) أو القصبة البركانية للبركان. وتوجد فوق المخرج المركزي حفرة على شكل قمع تعرف بفوهة البركان. ويتم ملء غرفة

الصهارة القريبة من سطح الأرض أسفل قمة البركان دوريا بالصهارة الصاعدة من أسفل، وتفرغ على السطح في دورات من الثورات. ويمكن أن تنبثق اللابة أيضا من كسور على جوانب البركان.

ويهتم الجيولوجيون بدراسة اللابة، حيث تعتبر اللابة عينة مطابقة تماما، حيث تختلف اللابة عن الصهارة التي توجد في الأعماق. فاللابة فقدت بعض مكوناتها من الغازات في الغلاف الجوي أو المحيط أثناء انبثاقها، كما يمكن أن تفقد الصهارة أو تكتسب بعض المكونات الكيميائية الأخرى أثناء صعودها إلي السطح. وبالرغم من هذه الاختلافات، فإن الصهارة والمواد الأخرى المنبثقة تمدنا بمعلومات مهمة، والتي تعتبر مفتاحا لفهم التركيب الكيميائي والحالة الفيزيائية للأجزاء العليا من الوشاح. وتدلنا هذه المواد التي تصلبت على هيئة صخر بركاني، على الثورة التي كونت هذه الصخور منذ آلاف أو ملايين السنين. ويؤثر التركيب الكيميائي والمعدني لا للابات في الطريقة التي تنبثق بها وأشكال التضاريس التي تكونها عندما تتصلب.

– الصخور والغازات التي تقذفها البراكين :

يعتقد الكثيرون أن البراكين لا تقذف إلا اللابة. ولكن هذا اعتقاد غير صحيح في أغلب الأحيان، حيث تقذف البراكين أثناء الثورة الانفجارية كميات هائلة من الفتات الصخري والقذائف البركانية والرماد البركاني الدقيق، والتي لا تقل وفرة عن اللابة. وبالإضافة إلي ذلك، فإن كميات كبيرة من الغازات تقذف من البراكين إلي الغلاف الجوي. ونستعرض فيما يلي أنواع المواد المختلفة التي تقذفها البراكين :

أ – الغازات :

تحظى الغازات البركانية وطرق تكونها بأهمية خاصة، حيث يعتقد أنها هى التي كونت مياه المحيطات وغازات الغلاف الجوي خلال الزمن الجيولوجي، بالإضافة إلي أنها يمكن أن يؤثر على الطقس والمناخ أيضا. وقد حلل عديد من الغازات البركانية لتحديد تركيبها الكيميائي، ووجد أن بخار الماء هو المكون الرئيسي للغاز البركاني حيث يمثل ٧٠ إلي ٩٥% من مكوناته، يليه ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت، بالإضافة إلي كميات ضئيلة من النيتروجين والهيدروجين وأول أكسيد الكربون والكبريت والكلور. وتطلق كل ثورة بركانية كميات هائلة من هذه الغازات . وتأتي بعض الغازات البركانية من أعماق الأرض، لتصعد إلي السطح. وقد تكون بعض الغازات البركانية عبارة عن مياه جوفية أو ماء محيطات دخلت في دورة جديدة، أو غاز من الغلاف الجوي أعيد أيضا في دورة جديدة، أو غاز محبوس في صخور تكونت في مراحل مبكرة.

ب – اللابات :

تختلف الأنواع الرئيسية للابات والصخور التي تكونها تبعا للصهارات التي تتكون منها. حيث تقسم الصهارات والصخور النارية التي نشأت منها إلي ثلاثة أقسام رئيسية، وهى لابات ريوليتية(فلسية) أو أنديزيتية (متوسطة) أو بازلتية (مافية) تبعا لتركيبها الكيميائي، (أنظر الفصل الرابع). كما تقسم الصخور أيضا إلي صخور متداخلة (بردت ببطء تحت سطح الأرض وتكون خشنة التحبب)، وتعرف أيضا بالصخور الجوفية وصخور منبثقة (بردت فوق سطح الأرض وتكون دقيقة التحبب)، وتعرف أيضا بالصخور البركانية. وتضم الصخور النارية المتداخلة

الرئيسية: الجرانيت (فلسي) والديوريت(متوسط) والجابرو (مافي). وتشمل الصخور المنبثقة الرئيسية المقابلة الريوليت (فلسي)، والانديزيت الأكثر تواجدا (متوسط) والبازلت (مافي).


سيل من حمم الإتنا (صقلية)

<u>١ـ أنواع اللابات :</u>

يؤدي تكون الأنواع المختلفة من اللابات إلي تكون العديد من التضاريس، مثل الجبال البركانية التي تختلف في شكلها، واللابات التي تصلبت وتختلف في معالمها، وتعكس هذه الاختلافات الفرق في التركيب الكيميائي ومحتوى الغازات ودرجة حرارة اللابة. فكلما زاد محتوى السيليكا مثلا زادت لزوجة اللابة وبطأ انسيابها، وكلما زاد محتوى اللابة من الغازات، كان انبثاقها أكثر عنفا.

- **<u>اللابات البازلتية:</u>** تنبثق اللابة البازلتية الداكنة اللون عند درجات حرارة تتراوح بين ١٠٠٠م و١٢٠٠م وهى درجة قريبة من درجة حرارة الأجزاء العليا من الوشاح. وتتميز اللابة البازلتية بأنها سائلة لدرجة كبيرة نتيجة لارتفاع درجة حرارتها، ومحتواها المنخفض من السيليكا. وتنساب هذه اللابة على المنحدرات بسرعة ولمسافات بعيدة. وعلى الرغم من أن المتوسط الشائع لانسياب اللابات هو عدة كيلومترات في الساعة، إلا أنه لوحظ أن بعض اللابات تصل سرعة انسيابها إلي نحو ١٠٠كم في الساعة. وفي عام ١٩٣٨م استطاع جيولوجيان روسيان جريئان قياس درجة حرارة الغازات البركانية وجمع عينات منها بوقوفهما فوق كتلة متصلبة تطفو فوق لابة من البازلت المنصهر الذي يتحرك كنهر جار. وكانت درجة الحرارة عند سطح الكتلة المتصلبة ٣٠٠م، بينما كانت درجة حرارة نهر البازلت ٨٧٠م. وقد سجلت حالات انسابت فيها اللابة لمسافة تزيد على ٥٠كم من مصدر انبثاقها. وتختلف اللابات البازلتية المنسابة تبعا للظروف التي انبثقت تحتها.

<u>ونذكر هنا الأنواع المهمة لتلك اللابات البازلتية:</u>

• **<u>بازلت فيضي</u>**: وفيه تنتشر اللابة البازلتية السائلة التي تنبثق فوق أرض مستوية على هيئة فرش رقيقة، مثل فيضان من اللابة . غالبا ما تتراكم الفيوض المتشابهة في هيئة هضاب بازلتية ضخمة تسمى البازلت الفيضي أو الهضاب البازلتية مثل تلك الموجودة في هضبة كولومبيا في أوريجون

واشنطن، وكذلك في هضبة الدكن غرب الهند، وتلك التي تغطي مساحات واسعة من الدرع العربي في غرب شبه الجزيرة العربية والمعروفة بالحرات.

• **باهوي هوي وآه آه:** تقسم اللابة البازلتية التي تبرد أثناء انسيابها على المنحدرات إلي نوعين تبعا لشكل السطح المتكون، وهما باهوي هوي وآه آه .

يتكون الباهوي هوي (الكلمة في لغة هاواي تعني حبلية) حينما تنتشر لابة سائلة على هيئة فرش، ويتجمد سطحها ليكون قشرة رقيقة زجاجية مرنة تسحب وتجدل لتكون طيات ملتفة تشبه الحبل، بينما يستمر السائل المنصهر في التدفق أسفل هذه الطبقة المرنة المتجمدة .

أما الآه آه فهو ما ينطق به الشخص الغافل (غير الحذر) عندما يتجرأ ويمشي حافي القدمين على لابة تشبه الأرض المحروثة حديثا. والآه آه هى لابة فقدت محتواها من الغازات وأصبحت بالتالي أكثر لزوجة عن الباهوي هوي. ولذلك فهى تتحرك ببطء، ممايؤدي إلي تكون طبقة سطحية أكثر سمكا. وبينما تستمر اللابة في التحرك، فإن القشرة السطحية السميكة تتكسر إلي كتل كبيرة خشنة ذات نتوءات حادة ، حيث تتراكب تلك الكتل فوق الجزء اللزج مما يؤدي إلي تراكم مقدمة شديدة الانحدار من الكتل الكبيرة المزواة التي تتقدم مثل جرار متحرك.

وحينما تنساب لابة بازلتية على المنحدرات فإنها تأخذ عادة شكل الباهوي هوي بالقرب من مصدر خروج اللابة، حيث تكون اللابة مازالت سائلة وساخنة، بينما تأخذ اللابة شكل الآه آه في المناطق الأبعد عن مصدر الصهارة على المنحدرات، حيث يتعرض سطح اللابة المنسابة للهواء البارد لمدة طويلة وتتكون طبقة خارجية سميكة.

• **لابة وسائدية**: لاحظ الجيولوجيون أن اللابات الوسائدية تتكون على قاع المحيط في هاواي ثم يقوم ماء البحر بتبريدها بسرعة. ويتكون التركيب الوسائدي على قاع البحر بعيدا عن مخرج اللابة البازلتية عند حيود وسط المحيط، حيث تنخفض درجة حرارة اللابة المنسابة. ويشير مصطلح بازلت وسائدي إلي تركيب معين يتميز بوجود كتل غير متصلة من البازلت، تكون وسائدي ة الشكل تشبه الأكياس، يتراوح قطرها بين بضعة سنتيمترات ومتر أو أكثر عندما تبرد ألسنة من اللابة البازلتية المنصهرة، ويتقسى سطحها بالتبريد المفاجيء، وتتكون قشرة خارجية خشنة، بينما تبرد اللابة داخل هذه القشرة بمعدل أكثر بطئا. ولذلك فإن الجزء الداخلي للوسائد يتكون من نسيج متبلور، بينما تتكون القشرة الخارجية من نسيج زجاجي عديم البلورات بسبب تبردها بسرعة. وتحدث كسورا في هذا السطح الخارجي، مما يؤدي إلي تكون فتحات تخرج منها الصهارة التي مازالت في حالة سائلة وتتسرب للخارج. ثم تتقسى هذه القطعة الجديدة البارزة بالتبريد المفاجيء ويتشقق سطحها، وهكذا تستمر العملية ويتكون في النهاية ركام متكدس من أجسام تشبه أكياس الرمل. ومعظم اللابات التي تنساب على القشرة المحيطية تكون بازلتا وسائديا. أما بالقرب من الكسور البازلتية عند حيود وسط المحيط فإن درجة حرارة اللابة تكون أعلى، وتنساب فرش رقيقة من اللابة ليتكون سطحا زجاجيا نتيجة للتبريد المفاجيء، وتتكدس الطفوح المنسابة لتكون تراكما من الفرش البازلتية التي لا يزيد سمك كل فرش منها على ٢٠سم تقريبا.

- **اللابات الريوليتية:** يتميز الريوليت الفاتح اللون وكذلك اللابة الريوليتية بأنها تكون أكثر فلسية، كما تكون درجة انصهارها أقل من اللابة البازلتية، وتنبثق عند درجات حرارة تتراوح بين ٨٠٠ و١٠٠٠م. وتكون اللابة الريوليتية أكثر لزوجة من اللابة

البازلتية نتيجة انخفاض درجة حرارتها ومحتواها العالي من السيليكا. وتتحرك اللابة الريوليتية بمعدل أبطأ بمقدار العشر عن اللابة البازلتية، ولذلك فهى تقاوم الانسياب، وتميل إلي أن تتراكم في هيئة رواسب سميكة منتفخة تشبه البصلة.

- **اللابات الأنديزيتية**: يتميز الأنديزيت، والذي يحتوي على محتوى متوسط من السيليكا بين كل من اللابة الفلسية والمافية، بصفات تقع بين تلك المميزة لكل من البازلت والريوليت.

٢ – أنسجة اللابات:

تتميز اللابات بوجود مظاهر أخرى تعكس ظروف الحرارة والضغط التي تكونت تحتها. فيمكن أن يتكون نسيج زجاجي أو دقيق التحبب إذا كان التبريد سريعا، أو نسيج أكثر خشونة إذا كان التبريد بطيئا. ويسمى النسيج الذي يتكون من حبيبات معدنية كبيرة تعرف بالبلورات الظاهرة في أرضية مكونة من حبيبات صغيرة من المعادن بالنسيج البورفيري . ويمكن أن يؤدي انخفاض الضغط فجأة أثناء صعود اللابة وتبريدها إلي تكون فقاعات صغيرة. وتحتوي اللابة أساسا على غازات، كما تحتوي زجاجة المياه الغازية المغلقة على الصودا. وعندما تصعد اللابة، يقل الضغط من فوقها، كما ينخفض الضغط عن قطرات الصودا حينما يفتح غطاء زجاجة المياه الغازية. وكما يكون ثاني أكسيد الكربون في الصودا فقاعات نتيجة انخفاض الضغط، فإن بخار الماء والغازات الأخرى الذائبة في اللابة تهرب منها وتكون فراغات أو كهوف صغيرة غازية أو فجوات تشبه الرغوة . ويشير النسيج الرغوي في اللابة المتصلبة إلي الأصل البركاني للصخر. ويمثل صخر البيومس (الحجر الخفاف) أحد أمثلة الصخور البركانية الريوليتية التي تتميز بوجود عدد هائل من الفجوات، لدرجة أن بعض صخور البيومس تطفو فوق سطح الماء.

ج – الرواسب الفتاتية النارية :

تؤثر المياه والغازات الذائبة في الصهارات كثيرا على نوع الثورة البركانية. ويؤدي الضغط الحابس للصخور التي تعلو البراكين، قبل حدوث الثورة، إلي احتفاظ اللابات بالمواد الطيارة من الهروب. وعندما تصعد الصهارة بالقرب من السطح وينخفض الضغط، فإنه يتم التخلص من المواد الطيارة تحت قوى انفجارية، تهشم اللابة وأي صخور أخرى صلبة تعلوها إلي كسرات ذات أحجام وأشكال وأنسجة مختلفة. وتميز الثورات الانفجارية على الأخص اللابات الريوليتية والأنديزيتية اللزجة والغنية بالغازات.

١ – المقذوفات البركانية :

تسمى أي مواد صخرية بركانية مفتتة تقذف في الهواء بالفتات الناري (يستمد المصطلح من الكلمات اليونانية pyro وتعني نارا أو حرارة وklastos وتعني مكسرا أو مفتتا). وتسمى الصخور المتكونة من الفتات الناري بصخور فتاتية نارية. كما تسمى أحيانا الرواسب المكونة من الفتات الناري بالتفرا. ويستخدم مصطلح تفرا كمصطلح شامل لكل الفتات الناري في الهواء، ويشمل كسرات من الصهارة المتصلبة حديثا سواء كانت صخورا أو معادن أو زجاجا، بالإضافة إلي كسرات من الصخور القديمة المكسرة. وتشمل التفرا الفتات الناري الذي يتساقط مباشرة على الأرض، وذلك التي يتحرك على الأرض كجزء من فيض ساخن متحرك.ويتنوع حجم وشكل الفتات الناري بدرجة كبيرة. وتسمى الأجسام التي قذفت كقطع من اللابة وأصبحت مستديرة، حيث تتشكل وتبرد في الهواء، بالقذائف البركانية (شكل ٥ -٧). أما الكسرات التي نشأت من

صخور بركانية متصلدة سابقا، فإنها تكون كسرات كتلية زاوية، تعرف بالكتل، أما اللويبات (الحصى البركاني) (من الإيطالية بمعنى الأحجار الصغيرة) فتكون أصغر حجما من القذائف البركانية والكتل. ويتراوح حجم القذائف البركانية بين حجم منزل اندفع لأكثر من ١٠كم في الثورات العنيفة، بينما يكون الرماد البركاني دقيقا لدرجة أنه يبقى عالقا في الهواء وينتقل لمسافات طويلة. وقد تم تتبع أثر الرماد البركاني بعد أسبوعين من انفجار في مونت بينا توبو في الفلبين في كل أنحاء العالم عن طريق الأقمار الصناعية عام ١٩٩١م.

ويتساقط الفتات لبركاني عاجلاً أم آجلاً، ويكون عادة رواسب بالقرب من المصدر البركاني. كما تلتحم الكسرات الساخنة اللزجة مع بعضها بعضا (أو تتحجر) أثناء التبريد. وتصف الصخور المتكونة من الفتات الناري حسب حجم الحبيبات التي يتكون منها الصخر، (جدول ٥ – ٢). وتسمى الصخور التي تتكون من قذائف بركانية يزيد قطرها عن ٦٤مم بالأجلومرات، وتلك التي تتكون من كتل كبيرة بالبريشيا البركانية. أما الصخور التي تتكون من كسرات يقل قطرها عن ٦٤مم فتسمى بالطف البركاني. وتسمى الصخور التي يتراوح قطر الحبيبات فيها بين ٦٤مم و٢مم بطف اللويبات، بينما تلك التي يقل قطر حبيباتها عن ٢مم بطف الرماد.

٢ – فيض الفتات الناري:

قد يكون أحد أشكال الثورات البركانية مثيرا ومذهلا، وغالبا ما يكون مدمرا، حيث يقذف البركان غازات ورماد وغبارا ساخنا في هيئة سحابة متوهجة تندفع على المنحدرات بسرعة قد تصل إلي نحو ٢٠٠كم في الساعة. وتحمل الغازات الساخنة الفتات الصلب لأعلى بعيدا عن سطح الأرض، بحيث تجعل مقاومة الاحتكاك قليلة، ويعرف هذا الفيض بفيض الفتات الناري.

كما يطلق أيضا على الفيض اسم السحابة المتوهجة (وهى كلمة فرنسية تعني عاصفة متوقدة). وتتميز السحابة المتوهجة بطاقة تتجمع من مصادر أربعة هى الانفجار الأولى والجاذبية والغاز الهارب من قطع الصهارة المحمولة في الغازات والتي تنفجر مثلما يحدث في حبات الفشار، وأخيرا تسخين الهواء المخلوط في السحابة المتدفقة نتيجة تحركه بعيدا أسفل المنحدرات.

ويسمى الراسب رديء الفرز المتكون من الفتات الناري بإجنمبريت. كما يطلق أيضاً مصطلح إجنمبريت على الصخر المتكون من هذا الراسب نتيجة الحبيبات الساخنة. كما يطلق أيضا مصطلح الطف الملحوم على الصخر المتكون من رماد ساخن جدا، وفي حالة لدنة، بحيث تنصهر الحبيبات المنفصلة مع بعصها بعضا، وتكون حجراً فتاتيا نارياً غنياً بالزجاج، حيث تلتحم الشظايا الزجاجية تحت التأثير المشترك لكل من الحرارة الكامنة في الشظايا وثقل المواد المتساقطة، وأيضا فصل الغازات الساخنة. ويتكون هذا الصخر عادة من فتات ناري غني بالسيليكا، ويتميز بنسيج تخطيطي .

وتتكون فيوض الفتات الناري بعدة طرق منها:

١ – **انهيار عمود الثورة:** ينشأ فيض الفتات الناري عندما ينهار عمود الثورة، حين تحدث ثورة وانفجار رأسي، ويقذف الرماد البركاني إلي ارتفاع قد يصل إلي ١٠كم أو أكثر. وعادة ما تنهار هذه السحابة الثقيلة من الرماد والغاز وتتدفق عبر منحدرات البراكين في شكل فيض فتات بركاني يتحرك بسرعة وعنف، ومثال ذلك ما حدث في جبل ميون في الفلبين عام ١٩٦٨م.

٢ – **انهيار قبة من اللابة:** قد يحدث فيض الفتات الناري بسبب انهيار قبة اللابة، مثلما حدث في جبل أونزين باليابان عام ١٩٩١م. حيث بدأت قبة اللابة في النمو المفاجيء عام ١٩٩٠م.

٣ – **التدفق من حافة فوهة:** ويبدأ في هذه الطريقة تدفق الفتات الناري على هيئة رماد وغاز ساخن من حافة فوهة البركان بطريقة مشابهة لقدر يغلي ويتدفق محتواه على الموقد. ومثال ذلك ما حدث في جبل مونت بيليه في الفترة ١٩٠٢ – ١٩٠٣م والفترة ١٩٢٩ – ١٩٣٢م.

٤ – **الانفجار المباشر:** قد يحدث فيض الفتات الناري بالانفجار المباشر، مثلما حدث في جبل مونت بيليه بمارتينيك في البحر الكاريبي عام ١٩٠٢م، حيث بدأت صهارة عالية اللزوجة جدا في ملأ فوهة البركان، وقد يحدث أحيانا أن يتدفق الفتات الناري الساخن جداً من فوهة البركان، وفي بعض الأحيان الأخرى يحدث انفجار من فوهة البركان.

– أنواع الانبثاقات ومعالمها :

بعد أن استعرضنا الأنواع المختلفة للمواد البركانية التي انبثقت أو قذفت من داخل الأرض، فإننا يمكن أن نفحص عن قرب أنواع الانبثاقات والمكونات المميزة لها. ولا تكون الثورات البركانية دائما مخروطا متماثلا مهيبا. وتمثل الطبقات الرتيبة والمملة من البازلت والتي تكون هضبة كولومبيا في واشنطن وأوراجون، والتي تغطي مئات الآلاف من الكيلومترات المربعة، نوعا آخر من البراكين. وتختلف المعالم البركانية ، نتيجة اختلاف اللابة والظروف التي تمت الثورات تحتها.

أ – الانبثاقات المركزية :

تكون الانبثاقات المركزية معظم أشكال البراكين الشائعة. حيث يتشكل الجبل البركاني على هيئة مخروط. وتطلق هذه الثورات اللابة أو المواد الفتاتية البركانية من مخرج مركزي، وهو عبارة عن فتحة في مركز المخروط البركاني تقريبا عند قمة قناة صاعدة من غرفة الصهارة، تندفع من خلالها المواد لتنبثق على سطح الأرض .

١ – البراكين الدرعية :

يتكون مخروط البركان نتيجة التدفقات المتتابعة من اللابة من مخرج مركزي. وتتدفق اللابة بسهولة وتنتشر في حالة اللابة البازلتية. أما في حالة التدفقات الوفيرة والمتكررة، فإنها تكون بركانا درعي الشكل يأخذ شكل القبة تقريبا، عريض يبلغ محيطه عشرات الكيلومترات ويزيد ارتفاعه على كيلو مترين، وتكون الإنحدارات لطيفة نسبيا خاصة بالقرب من القمة. ويعتبر بركان مونالوا في هاواي أحد الأمثلة التقليدية لبركان درعي .





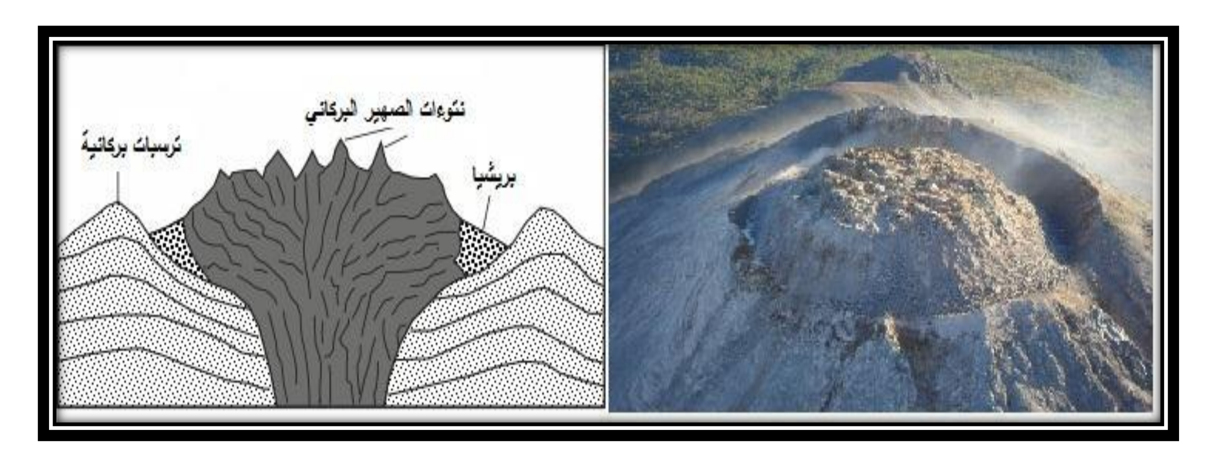
بركان درعي.

وعلى الرغم من أنه يرتفع أربعة كيلومترات فقط فوق مستوى سطح البحر، إلا أنه يعتبر فعليا أطول تركيب في العالم، حيث يرتفع فوق قاع البحر عشرة كيلومترات، بينما يبلغ قطر قاعدته نحو ١٢٠كم. ولقد وصل بركان مونا لوا إلي حجمه نتيجة تراكم آلاف التدفقات اللابية على امتداد عدة ملايين من السنين. حيث يبلغ سمك كل واحدة من هذه التدفقات بضعة أمتار. وتتكون جزيرة هاواي من مجموعة من البراكين الدرعية النشطة المتراكمة فوق بعضها بعضا على مر السنين حتى برزت فوق قاع المحيط.

٢ – القباب البركانية :

تتميز اللابات الفلسية (الريوليتية)، على عكس اللابات البازلتية، بأنها لزجة لدرجة أنها تتدفق بصعوبة بالغة. و تكون اللابة الفلسية عادة في هيئة قبة بركانية وهي عبارة عن كتلة مستديرة من

الصخور، ذات جوانب شديدة الإنحدار. وتبدو القبة البركانية كما لو كانت تدفقت من مخرج، مع عدم القدرة على الإنتشار الجانبي. حيث تقوم القباب غالبا بغلق مخرج اللابات، مما يؤدي إلي حبس الغازات وزيادة الضغط، فيحدث انفجار يؤدي إلي تحطم القبة إلي كسرات. ومثال ذلك، ما حدث في انفجار جبل سانت هيلين عام ١٩٨٠م .



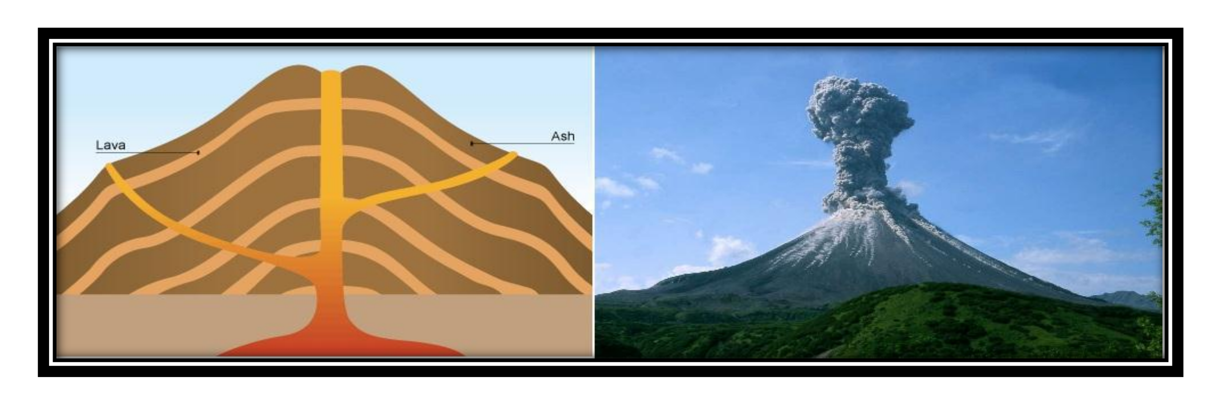
القباب البركانية

٣ - مخاريط الحمم الفتاتية :

حينما تقذف المخارج البركانية فتاتا ناريا، فإن الكسرات الصلبة تبني مخروطا من الفتات الناري يعرف بمخروط الحمم الفتاتية ويتحدد بروفيل المخروط حسب أقصى زاوية استقرار يمكن أن يبقى عندها الحطام مستقرا قبل أن ينهار على المنحدرات. وتكون الكسرات الأكبر التي تسقط بالقرب من القمة انحدارات حادة، إلا أنها تكون مستقرة. أما الكسرات الدقيقة فإنها تحمل بعيدا عن مخرج البركان، وتكون منحدرات لطيفة عند قاعدة المخروط. ويعكس المخروط البركاني التقليدي ذو السطح المقعر، وحيث يوجد المخرج عند القمة، هذا التغير في الانحدار.

٤ – البراكين المركبة :

تتكون البراكين المركبة حينما يقذف بركان لابة مع الفتات الناري، فتتبادل فيوض اللابة مع طبقات الفتات الناري لتكون بركانا مركبا مقعر الشكل، أو بركانا طباقيا. ويمثل هذا النوع أكثر الأنواع شيوعا من البراكين الكبيرة، مثل: بركان فوجي ياما في اليابان، وبراكين فيزوف وإتنا في إيطاليا، وبركان نجوروهو في نيوزيلندة.

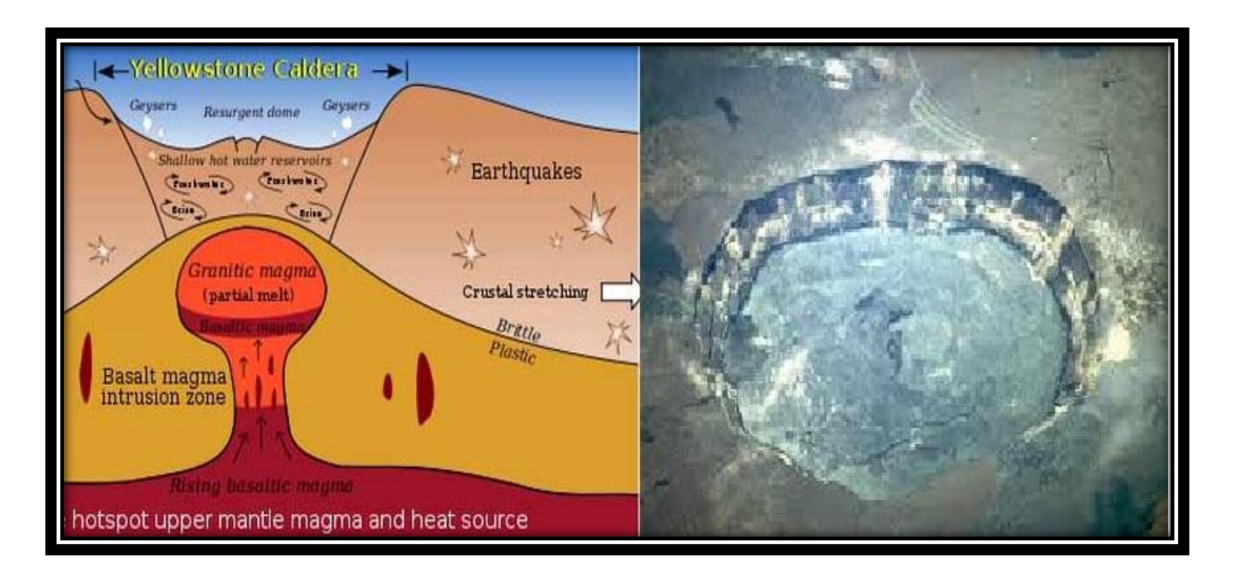


بركان مركب

٥ – فوهات البراكين والمعالم البركانية الأخرى:

فوهات البراكين يوجد على قمة معظم البراكين، فوق مخرج البركان، حفرة على شكل منخفض دائري ذات شكل قمعي تعرف بفوهة البركان ، تقذف من خلالها الغازات والفتات البركاني واللابة. وتتجاوز اللابة المتدفقة جدران فوهة البركان أثناء انبثاق اللابة من البركان. وعند توقف الثورة تغوص اللابة المتبقية في فوهة البركان مرة أخرى في مخرج البركان وتتصلب. وحينما تحدث الثورة التالية، تتفجر تلك المواد خارج فوهة البركان في هيئة انفجار فتاتي بركاني. وتملأ فوهة البركان بعد ذلك جزئيا بالحطام الذي يتساقط داخل الفوهة. ولأن حوائط فوهة البركان تكون حادة الإنحدار فإنها ربما تسقط أو يتم تعريتها مع مرور الوقت. وبهذه الطريقة، فإن قطر فوهة البركان قد يزيد عدة مرات عن قطر مخرج البركان، بينما تبلغ مئات الأمتار عمقا. فمثلا يبلغ قطر فوهة جبل إتنا في صقلية حاليا نحو ٣٠٠م، بينما تبلغ ٨٥٠مترا عمقا.

الكالديرات: تصبح غرفة الصهارة فارغة كليا أو جزئيا، بعد الثورة العنيفة التي تندفع فيها أحجام كبيرة من الصهارة من غرفة الصهارة المتواجدة على بعد عدة كيلومترات قليلة تحت مخرج البركان، ثم يهبط ببطء سقف غرفة الصهارة غير المدعم تحت تأثير وزنها وينهار من خلال حلقة من الكسور الرأسية شديدة الأنحدار، تاركا منخفضا كبيرا على شكل حوض، أكبر بكثير من فوهة البركان، يسمي كالديرا. وتتميز الكالديرات بمعالمها المميزة، حيث يتراوح قطرها بين بضعة كيلومترات و٥٠كم أو أكثر. ويعتقد بعض الجولوجيين أن الكالديرا تتكون بسبب انفجار هائل في البركان ينسف قمته، بينما أظهرت البحوث ورسم الخرائط الجيولوجية لأنماط التصدع حول الكالديرات أن الكالديرا تحدث نتيجة انهيار سقف غرفة الصهارة كما ذكرنا سابقا، وقد تتراكم مياه في الكالديرا لتكون بحيرة.



تكون اشكال الكالديرا

انفجارات الماء البركاني: عندما تقابل صهارة ساخنة غنية بالغاز ماءا جوفيا أو ماء بحر، تنشأ كميات ضخمة من بخار الماء الشديد السخونة تصحبها الطين والمواد الأخرى، دون توهج وتسبب ما يعرف بإنفجار الماء البركاني (انفجار فرياتي). ومن هذا النموذج انفجار بركان

كراكاتوا في أندونيسيا عام ١٨٨٣م، وهو أحد أكثر الانفجارات البركانية تحطيما وتخريبا في التاريخ.

دياتريم (ثاقبة بركانية): عندما تهرب مادة ساخنة من الأعماق الداخلية للأرض في صورة انفجار، فإن مخرج البركان والأنبوب المغذي أسفله يمتلىء بالبريشيا عندما تتضاءل الثورة. ويسمي التركيب الناشيء عن ذلك بالدياتريم أو الثاقبة البركانية. ولقد أوضحت الأبحاث العديدة ميكانيكية تكوين الدياتريم، حيث أظهرت دراسة المعادن والصخور التي تحتويها بعض الدياتريمات أنها تتكون فقط في الأعماق الكبيرة –نحو ١٠٠كم أو أكثر- داخل الوشاح العلوي . وتدل الدراسات أن الدياتريمات تكونت من صهر الصخور التي تقع في طريقها بالصهارات الصاعدة الغنية بالغاز، حيث تقذف في النهاية وبطاقة انفجارية أحيانا وبسرعة عالية جدا غازات وكسرات من المخرج، وكسرات من أعماق القشرة والوشاح. وربما تشبه هذه الثورات خروج العادم النفاث من صاروخ مقلوب هائل في الأرض حيث يقوم بتفجير الصخور والغازات في الجو.

وهناك دياتريم في مناجم كمبرلي الأسطورية بجنوب إفريقيا، وهى واحدة من أكبر مناجم الماس في العالم. ويتكون هذا الدياتريم من صخر البريدوتيت، وهو صخر فوقمافي مكون في معظمه من معدن الأوليفين بالإضافة إلي معدن البيروكسين. كما يحتوي أيضا على الماس الذي يتكون من عنصر الكربون تحت ضغط كبير في الوشاح مع كسرات مختلطة من صخر الوشاح التقطتها الصهارة أثناء صعودها إلي سطح الأرض. وينظر إلي هذا الدياتريم كما لو أن بئرا قد حفر في الوشاح يصل إلي عمق ٣٠٠كم. وتمدنا الكسرات التي التقطتها الصهارة أثناء صعودها بالدليل المباشر الوحيد عن مواد الوشاح العلوي، والتي تتكون أساسا من صخر البريدوتيت.

النصلات البركانية: النصلات البركانية هي أحد أشكال تواجد الصخور البركانية. ويعتقد أنها تتكون من صهارة بردت داخل عنق البركان المركزي وبقيت بعد عمليات تجوية وتعرية البركان . وتعرف النصلة البركانية أيضا بالسدادة البركانية.

ب – الانبثاقات الشقية :

عندما تتدفق لابة بازلتية من خلال شق في سطح الأرض يبلغ طوله عشرات الكيلومترات فإن اللابة المتدفقة تغطي مساحات شاسعة من سطح الأرض. وفي خلال الأربعة ملايين سنة الأخيرة حدث عدد لا يحصى من الانبثاقات الشقية على سطح الأرض . وتعتبر الانبثاقات التي تحدث على امتداد حيود وسط المحيط ضمن أهم الانبثاقات الشقية. وفي خلال التاريخ المسجل، وفي عام ١٧٨٣م، شاهدت البشرية ولمرة واحدة مثل تلك الانبثاقات في أيسلندة، والتي تعتبر جزءا مكشوفا من حيود وسط الأطلنطي. ولقد مات نحو خمس سكان أيسلندة نتيجة هذا الانبثاق، حيث فاض نحو ١٢كم من البازلت من خلال شق بلغ طوله نحو ٣٢كم. وقد استمرت الانبثاقات الشقية في أيسلندة على نطاق أقل من ذلك الذي حدث في كارثة عام ١٧٨٣م.

١ – بازلت فيضي (الهضاب البازلتية) :

يحتوي السجل الجيولوجي على أدلة عديدة عن فيوض بازلتية انبثقت من شقوق كبيرة. فعندما ينبثق بازلت فيضي (ويعرف أيضا بالهضاب البازلتية) من شقوق طولية ينشأ سهل أو تراكم على هيئة هضبة من اللابات، بدلاً من التراكم على هيئة جبل بركاني كما يحدث عند الانبثاق من

مخرج مركزي. فلقد غطت فيوض البازلت التي كونت هضبة كولومبيا نحو ٢٠٠,٠٠٠كم من سطح الأرض، حيث وصل سمك بعض الفيوض المنفصلة أكثر من ١٠٠متر، بينما كانت بعض الفيوض الأخرى سائلة لدرجة أنها انتشرت لمسافة أكبر من ٦٠كم من مصدر الصهارة. ولقد تكون على سطح اللابة تضاريس جديدة مع وديان للأنهار جديدة غطت الأسطح القديمة. وتتواجد الهضاب المكونة من الفيوض البازلتية على كل قارة .

٢ – رواسب فيض الرماد :

تكون المواد الفتاتية النارية المنبثقة من الشقوق الطولية أيضا فرشا شاسعة من طف بركاني صلب تسمى رواسب فيض الرماد في الشقوق الطولية. ولم يشاهد أي من البشر أحد هذه الأحداث المهولة حتى الآن. حيث يعتقدان أن رواسب فيض الرماد قد تكونت في العصر الثالث المبكر في جريت بيزن في نيفادا والولايات المجاورة بهذه الطريقة، والتي غطت مساحة تصل إلي نحو ٢٠٠٠٠٠كم، ويصل سمكها إلي أكثر من ٢٥٠٠ متر في بعض المناطق.

ج – بعض الظواهر البركانية الأخرى :

١ – اللاهار :

يعرف التدفق الطيني لرواسب الرماد البركاني والمواد البركانية الأخرى المستقرة فوق منحدرات المخاريط البركانية المشبعة بالماء باللاهار (معربة من الإندونيسية) ،وهو يعتبر من أهم العوامل البركانية الخطرة شديدة التخريب . وقد يحدث اللاهار عندما يقابل فيض الفتات الناري نهرا أو جليدا لحافه مثلجة، أو عندما يتكسر حائط في بحيرة فوهة البركان فجأة لينطلق الماء، أو عندما يحول المطر المنهمر بغزارة رواسب جديدة من الرماد إلي تدفق طيني. ومن المعروف أن اللاهار تحمل كتل ضخمة لعشرات الكيلومترات. وعندما حدثت ثورة بركان نيفادو دول روز في جبال الأنديز بكولومبيا عام ١٩٨٥م، تسببت رواسب اللاهار المتكونة نتيجة انصهار جليد المثالج قرب القمة في تغطية المنحدرات ودفن مدينة أرميرو على بعد ٥٠كم، وقتل أكثر من ٢٥٠٠٠شخص. وعندما حدثت ثورة بركان بيناتوبو في الفلبين في يونيو ١٩٩١م، تسببت رواسب اللاهار في حدوث كارثة، كلما حل موسم المطر لمدة خمسة أعوام أو أكثر بعد حدوث الثورات البركانية .

٢ – الداخنات والينابيع الحارة والفوارات (الجيزارات) :

لا يتوقف النشاط البركاني بتوقف انسياب اللابة أو المواد الفتاتية النارية، ولكن قد تستمر البراكين في النشاط لعقود أو حتى لقرون. وتستمر البراكين في قذف أدخنة الغازات والبخرة عبر هى مخارج صغيرة تسمى داخنات بعد انتهاء الثوران الرئيسي. وتحتوي كل هذه الإنبثاقات على مواد ذائبة تترسب على الأسطح المحيطة، كما يتبخر الماء أو يبرد. وتتكون نتيجة ذلك أنواع من رواسب سطحية (مثل الترافرتين) تغطي سطح الصخر، وقد تحتوي على بعض المعادن النفيسة.

وعندما تقابل المياة الجوفية المتحركة في باطن الأرض صهارات مدفونة (تحتفظ بالحرارة لمئات الآلاف من السنين) فإنها تسخن وتعود إلي السطح على هيئة ينابيع حارة.والفوارة (الجيزر) هى نوع من الينابيع الحارة ينبثق منها الماء الساخن والبخار بقوة وبصورة متقطعة، وكثيراً ما يكون مصحوبا بأصوات رعدية. ويستمد اسمها من كلمة geyser الستخدمة في أيسلندة

وتعني يتدفق أو ينفجر. ويعتبر جيزر أولد فيثفل في يللستون بارك، من أحسن أمثلة الفوارات في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تندفع نافورة من الماء الساخن بإرتفاع يصل إلي نحو ٦٠ مترا كل ٦٥ دقيقة تقريبا.

- التبركن وتكتونية الألواح:

لحظ الناس منذ أمد بعيد، أن كل البراكين الكبيرة في العالم تقع على امتداد حزامين رئيسيين ، وهماالحزام حول الهادي أو حزام النار، والثاني هو حزام البحر المتوسط. أما الحزام حول الهادي فهو الحزام الأكبر، ويضم عديدا من البراكين في وسط أمريكا الشمالية وغرب أمريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية (أنتاركاتيكا). ويشمل الجزء الغربي من حزام المحيط الهادي براكين نيوزيلندا وأندونسيا والفلبين واليابان، بينما يشمل الجزء الشمالي من هذا الحزام البراكين النشطة في روسيا وجزر اليوشان. أما الحزام الثاني حزام البحر المتوسط ويشمل جبل فيزوف وجبل ثيرا(جزيرة في البحر المتوسط) وجبل أتنا فوق جزيرة صقلية.

ويظهر توزيع البراكين النشطة في العالم، والتي يتراوح عددها بين ٥٠٠و٦٠٠ بركان أنها ليست موزعة عشوائيا، بل تتوزع تبعا لنمط محدد. فيتواجد نحو ٨٠% من البراكين النشطة عند حدود الألواح المتقاربة. و١٥% عند حدود الألواح المتباعدة، والبقية القليلة داخل الألواح. وكما أوضحنا في الفصل السابق، فإن تركيب اللابة يختلف حسب موقع البركان من تكتونية الألواح .

وسنناقش فيما يلي شرحا لتفسير توزيع ونشأة البراكين في إطار تكتونية الألواح:

أ - التبركن عند حدود الألواح المتاعدة(تبركن نطاق الانتشار) :

كما أوضحنا سابقا في الفصلين الأول والرابع، إن قيعان المحيطات تتميز بوجود كسور تكون نظام خسف في الكرة الأرضية، تنفصل على امتدادها الألواح وينبثق من خلالها البازلت. ويتمد الكسر بين اللوحين المتباعدين إلي الأعماق في الغلاف اللدن(الأسثينوسفير). وتصعد الصهارات البازلتية والمتكونة نتيجة الإنصهار الجزئي للصخر فوقالمافي الساخن في غلاف الانصهار، في الفجوة بين الألواح المنفصلة، وتتدفق أعلى الكسر لتكون حيود المحيط وبراكين وقشرة قاع المحيط البازلتية. وقد صبت كميات هائلة من الصهارة عبر هذا النظام من كسور القشرة الأرضية، حيث تدفقت صهارة تكفي لتغطية قشرة كل المحيطات الحالية خلال المائتيمليون سنة الماضية .

وتنخفض حرارة البراكين كثيرا عند قيعان المحيطات حينما تتحرك المياه الباردة في كسور حيود وسط المحيط. ويكون ماء البحر الذي ارتفعت درجة حرارته وأصبح غنيا بالمعادن الذائبة نتيجة تلامسه مع الصهارة ينابيع ساخنة جدا (٣٥٠م) ومخارج للدخان بامتداد هذه الكسور. وتعتبر هذه الأماكن مصدرا مهما للمعادن بما فيها خامات الزنك والنحاس والحديد .

وتمدنا أيسلندة، والتي تعتبر واحدة من المناطق القليلة المكشوفة لحيود وسط الأطلنطي، بنموذج لمشاهدة عملية انبثاق الصهارة عبر كسور قيعان المحيطات مباشرة. وتتكون جزيرة أيسلندة في معظمها من البازلت، كما تتميز بأنها في حالة شد عند طرفيها، حيث يشد نصفها الشرقي ناحية اللوح الأوروآسيوي، بينما يشد نصفها الغربي ناحية لوح أمريكا الشمالية. وتتسبب قوى الشد في تكوين كسور تتدفق عبرها الصهارة إلي السطح. ويتكون في نهاية كل مرحلة نتيجة لتصلب

اللابة قاطع رأسي وطبقات أفقية تقريبا على الأسطح الجانبية للكسور. ومع كل مرحلة جديدة من الانتشار الجانبي، يتكون كسر جديد ويحدث تدفق جديد خلال القاطع القديم. وهكذا تنمو أيسلندة نتيجة الانبثاقات المتكررة من الكسور الطولية، وأيضا من مخارج محلية. وعلى الرغم من اختلاف هذا السيناريو عما يدور تحت الماء، فإن أقوي الاحتمالات تشير إلي أن قشرة قيعان المحيطات تتكون بالطريقة نفسها.

ب - التبركن عند الحدود المتقاربة (تبركن نطاق التقارب) :

يتم في الوقت الحالي دراسة وفحص العديد من الظواهر التي تحدث عندما تتقارب الألواح ويحدث الاندساس. ومن المظاهر المميزة لذلك سلسلة البراكين التي توازي الحدود المتقاربة، أيا كان نوع تلك الحدود، سواء كان محيطيا –محيطيا، أو محيطيا –قاريا. وتختلف أنواع الصهارات التي تغذي البراكين في نطاق التقارب عن الصهارة البازلتية المتكونة في حيود وسط المحيط. وتتراوح تلك الصهارة في تركيبها من مافية إلي متوسطة إلي فلسية، أي من بازلتية إلي أنديزيتية إلي ريوليتية. وتقدم فكرة الاندساس عدة تفسيرات للميكانيكية التي تؤدي إلي تكون أنواع مختلفة من الصهارات في نطاق الاندساس وقد يتسبب الماء الموجود في رواسب الطبقة الخارجية لقيعان المحيطات فوق اللوح المندس في انصهار الوشاح الساخن فوقه، حيث يعمل هذا الماء على خفض درجة حرارة انصهار الصخر (الفصل الرابع). وتتكون في هذه العملية صهارات بازلتية تغذي براكين نطاق التقارب. وتتكون بالإضافة إلي الصهارات البازلتية التي تنشأ من الانصهار الجزئي للوشاح صهارات متوسطة وأخرى أكثر فلسية، إذا توفرت مصادر لتزويد الصهير بالسيليكا والعناصر الأخرى. وترتفع درجة حرارة اللوح المندس الباردة في نطاقات الاندساس نتيجة انصهار رواسب قاع المحيط والقشرة المحيطية أعلى اللوح المحيطي المندس. وبالإضافة لذلك، تتداخل الصهارات الصاعدة من الوشاح في القشرة الفلسية للوح القاري العلوي وتسبب انصهاره جزئيا. وتنشأ عن هذه العملية أنواع من الصهارات الأكثر فلسية، وهكذا يمكن التنبؤ بالنشاط البركاني المصاحب لعملية الاندساس ونشأة صهارات مختلفة الأنواع، في إطار نظرية تكتونية الألواح.

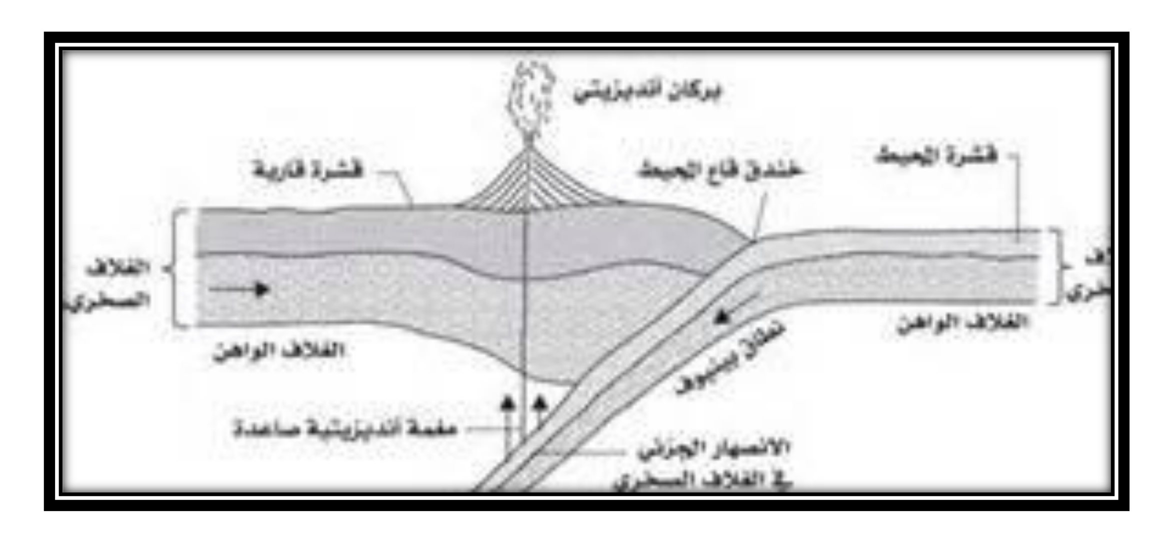
١ - **التبركن في التقارب المحيطي – المحيطي** :

عندما يتقارب لوحان محيطيان، ينشأ من قاع محيط اللوح العلوي قوس من الجزر البركانية تعرف بأقواس الجزر، نتيجة انبثاق البازلت أو الأنديزيت أحيانا، أو الريوليت نادرا. وربما ينشأ البازلت من الغلاف اللدن (الأستينوسفير) أعلى اللوح الهابط (المندس). ويتواجد الأنديزيت (الأكثر سيليكية) عندما تضاف عناصر مستمدة من الانصهار الجزئي للقشرة البازلتية عند درجات انصهار مختلفة، بالإضافة إلي رواسب قاع المحيط المصاحبة للوح الهابط. وتمثل جزر الأليوشن وماريانا نموذجا أوليا لهذه العملية.

٢ - التبركن في التقارب المحيطي – القاري :

عندما يندس لوح محيطي تحت لوح يحمل قارة فوق حافته المتقدمة، فإنه تنشأ سلسلة جبال بركانية قوسية تعرف بالأقواس البركانية في نطاق التصادم بالقرب من الحافة القارية. وتمثل جبال الأنديز حدود التقارب بين لوحي أمريكا الجنوبية(حافة قارية) ونازكا (حافة محيطية). ويؤدي اندساس لوح جوان دي فوكا الصغير (حافة محيطية)تحت لوح أمريكا الشمالية(حافة قارية) إلي تكون براكين سلسلة الكاسكيد،والتي تمتد من كاليفورنيا الشمالية إلي كولومبيا

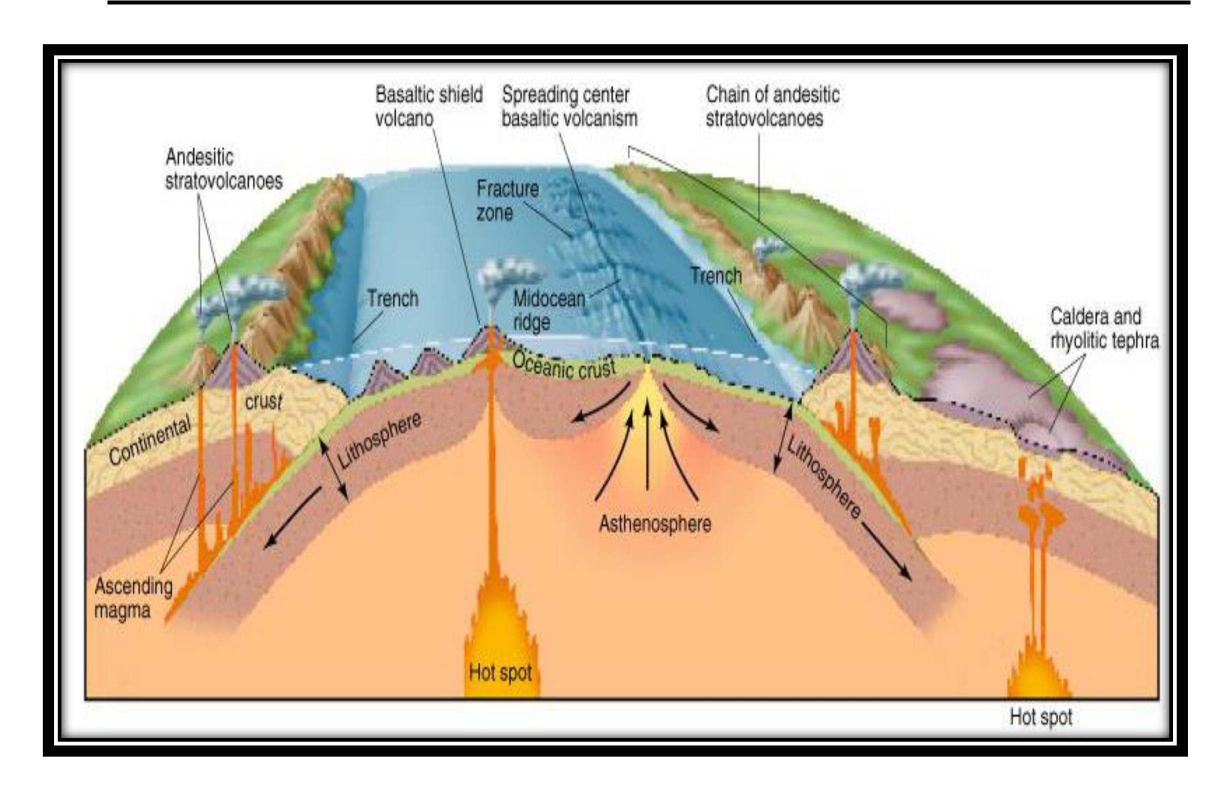
البريطانية، حيث تتضمن هذه السلسلة بركان سانت هيلين. وعند حدوث ثورة بركانية، تقذف كميات من الرماد واللابة الأنديزيتية، وبعض اللابة الريوليتية. وغالبا ما يكون المصدر خليطا من صهارة بازلتية تصعد من الوشاح مختلطة بقشرة قارية فلسية أعيد صهرها أثناء صعود الصهارة البازلتية في تلك القشرة. وبالإضافة إلي ما سبق، يمكن أن تضاف مواد منصهرة من اللوح المندس إلي الخليط.



تصادم صفحية محيطية مع صفيحة قارية.

ج - التبركن داخل الألواح :

يمثل التبركن بعيدا عن حدود الألواح مشكلة لنظرية تكتونية الألواح، حيث يبدو أنه استثناء من المقارنة الدقيقة بين التبركن وحدود الألواح. فلو أخذنا مثالا من جزر هاواي التي تقع وسط لوح المحيط الهادىء، فإن سلسلة الجزر تبدأ من البراكين النشطة في هاواي، وتستمر مثل سلسلة من حيود وجبال بركانية خامدة مغمورة تم تعريتها، وتزداد في العمر كلما ابتعدنا عن جزر هاواي. وتتميز تلك السلسلة بأنه لا تصاحبها زلازل كبيرة متكررة، ولذلك فإنها تسمي حيداً لازلزالياً. وقد كان من الصعب تفسير نشأة الحيود اللازلزالية ذات الأصل البركاني، والتي تتواجد أيضاً في كل مكان في المحيط الهادىء وفي المحيطات الأخرى الكبيرة، في إطار نظرية تكتونية الألواح، حتى تم التوصل إلي فكرة النقاط الساخنة لشرح أشكال البراكين داخل القارات بعيداً عن حدود الألواح. ويعتبر بركان يلوستون بارك مثالاً لنقطة ساخنة قارية نشطة فوق لوح أمريكا الشمالية.فطبقا لهذه الفرضية والموضحة في ، فإن النقاط الساخنة تمثل تعبيرا عن البلومات على سطح الأرض. والبلوم هو عبارة عن مادة صلبة ساخنة تصعد من الأعماق خلال الوشاح(وربما حتى الحد الذي يفصل بين اللب والوشاح). وعندما يصل البلوم إلي الأعماق الضحلة، حيث ينخفض الضغط فإنه يبدأ في الانصهار. وتخترق الصهارة الغلاف الصخري (الليثوسفير) لتنبثق عند السطح. ويعتقد أن هذه التيارات العمودية ثابتة في الوشاح، ولا تتحرك مع حركة ألواح الغلاف الصخري. وعند مرور اللوح فوق البلوم، فإن النقطة الساخنة تترك سلسلة من البراكين النشطة والتي تتحول إلي براكين خامدة تزداد في العمر كلما ابتعدنا عن النقطة الساخنة.



علاقة الصفائح بالنشاط البركاني.

على أن أصل الانبثاقات الشقية للبازلت فوق القارات مازالت محل نقاش حتى الآن. ومن تلك الانبثاقات تلك التي كونت هضبة نهر كولومبيا وهضاب اللابة الأكبر في البرازيل وبارجواي والهند وسيبريا. وقد اقترح البعض وجود بلومات ضخمة تعرف بالسوبربلوم، تصعد من الأعماق عبر الوشاح كمصدر للانبثاقات الشقية، التي تكون هضاب اللابة الكبيرة القارية، حيث يزيد حجم بعضها على مليون كيلومتر مكعب. ويقترح البعض الآخر أن كسورا(لم يحدد أصلها) اخترقت الغلاف الصخري القاري، وأن اللابات البازلتية، والتي تمثل الانصهار الجزئي للوشاح أسفله قد اندفعت بسرعة إلي السطح بدون تشوب(تغير التركيب الكيميائي للصهارة) من القشرة الفلسية. وقد كان التبركن الذي غطي معظم سيبريا باللابة منذ نحو ٢٥٠مليون سنة عند نهاية العصر البرمي ذا أهمية خاصة، حيث يعتقد أنه كان السبب في أكبر هلاك للأحياء في التاريخ الجيولوجي. ويمكن ملاحظة وجود الانبثاقات الشقية التي تمييز المراحل الأولي للخسف القاري وبداية تكون محيط جديد في أماكن عديدة من العالم. فمثلاً قد يوجد البازلت في وديان الخسف في شرق إفريقيا. حيث يعتقد أنه يمثل أحد مظاهر انشطار هذا الجزء من إفريقيا والذي لم يكتمل بعد.

ـ البراكين والمناخ :

تلقي العلاقة بين الثورات البركانية و التغيرات في الطقس والمناخ المزيد من الاهتمام منذ فترة طويلة. فعندما ثار بركان لاكي في أيسلندة عام ١٧٨٣م انبثقت منه أكبر لابة في التاريخ، وخرجت كمية ضخمة من الغازات التي غطت جزيرة أيسلندة ومعظم شمال أوروبا لعدة شهور في صورة غيام وضباب أزرق. وقد احتوت الغازات على كمية من غاز الفلورين مما أدي إلي موت كثير من الدواب في أيسلندة، وحدوث مجاعة قاسية أدت إلي هلاك نحو خمس سكان الجزيرة. ومع مرور الوقت وصل الغيام الرقيق إلي أوروبا، حيث أمكن رؤيته لأيام عديدة في الصيف.وقد كان شتاء ١٧٨٣ ـ١٧٨٤م قاسيا خاصة في أوروبا. وقد أوضحت المشاهدات

الحقلية أن الرماد الدقيق والغازات التي انبثقت من بركان لاكي قد حجبت أشعة الشمس بدرجة أدت إلي وجود طقس بارد. وقد كان البريطاني لامب إخصائي علم المناخ هو صاحب اقتراح أن النشاط البركاني يؤثر على المناخ. وقام لامب بجمع قائمة تفصيلية بالثورانات البركانية منذ عام ١٥٠٠ قبل الميلاد، وعمل حسابا لمعامل يعتمد على الكمية الظاهرة من الحطام البركاني المنتشر في الغلاف الجوي. وقد توصل إلي أن هناك علاقة واضحة بين التغيرات المناخية في العالم والثورات البركانية الكبيرة.

وإذا كان الرماد والغازات تؤثر على الطقس والمناخ، فلابد أن التأثير يكون في الاستراتوسفير (الجزء العلوي من الغلاف الجوي ويقع بين ١٠ و٥٠كم فوق سطح الأرض) حيث تحوم طبقة من الغازات لفترة طويلة، مع عدم وجود سحب أو أمطار تغسل تلك الملوثات . وقد قام إخصائيو علم المناخ بتحديد طبقة من الرذاذ تبقي لمدة طويلة عند ارتفاعات تتراوح بين ١٥ و٣٠كم، والتي يبدو أنها تتكون من غيام رقيق يتكون من رماد سيليكاتي وملح من البحر ونقيطات من حمض الكبريتيك تقلل من شفافية الجو، وربما تنشأ تلك المكونات من مصادر عديدة، مثل رذاذ البحر أو الأعاصير الترابية أو الثورات البركانية أو حرائق الغابات أو الملوثات الصناعية. وتتغير كثافة طبقة الرذاذ خلال شهور أو سنوات، إلا أنها قد تتغير فجأة نتيجة ثورة بركانية، كما تحتاج لسنوات حتى تعود إلي وضعها الطبيعي. وتسقط أشعة الشمس على هذه الطبقة من الغيام في الاستراتوسفير وبرودة الغلاف الجوي أسفله، وكذلك سطح الأرض.

- تقليل مخاطر كوارث البراكين :

يهدد واحد من كل ستة براكين نشطة في العالم حياة البشر. ويتراوح عدد تلك البراكين بين٥٠٠ و٦٠٠بركان. كما أنها تدمر الممتلكات عندما تنهار المباني الضخمة وتحدث الانفجارات العنيفة ويساقط الرماد وتنطلق الغازات المهلكة والملوثة للغلاف الجوي وتنساب اللابة واللاهار.

وقد تمكن العلماء الذين يراقبون جبل سانت هيلين وجبل بيناتوبو من التنبؤ والتحذير وإصدار تعليمات الإخلاء من ثورات رئيسية هائلة. وفي حالة بركان بيناتوبو، والذي لم يثر لمدة ٥٠٠ عام، فقد صدر التحذير قبل الثورة العنيفة بعدة أيام. ومن ثم تم إخلاء نحوستين ألف شخص من منطقة يبلغ قطرها ١٠كم من قمة البركان. وقد تم إنقاذ عشرات الآلاف من الأحياء من اللاهار الذي دمر كل شيء في طريقه. وبذلك أمكن تجنب الكارثة ونجا الكثير من البشر عدا القليل منهم الذين تجاهلوا التحذيرات.

وعلى عكس قصص هذه النجاحات، فهناك إخفاقات منها مأساة بركان نيفادو ديل روز في كولومبيا عام ١٩٨٥م. فرغم تحذير العلماء من خطورة هذا البركان، حيث توجد قمة جليدية على قمة الجبل العالية، وأن أي انسياب للابة أو لكسرات صخرية ساخنة فوق الجليد ستسبب كارثة. وقد استعد العلماء بإصدار التحذير، إلا أنه لم تكن هناك إجراءات جادة للإخلاء. ونتيجة لذلك، فلقد هلك خمسون ألفا من البشر بسبب اللاهارات التي انطلقت نتيجة الثورة المحودة.

وقد تطور علم البراكين إلي الدرجة التي يمكننا بها تحديد مواقع البراكين الخطيرة في العالم وتحديد المخاطر الممكنة، من نوع المواد التي تخرج من البركان أثناء الثورات في مراحلها الأولي. ويمكن استخدام تقييمات المخاطر لإصدار التعليمات بخصوص عمل نطاقات لتقييد استخدام الأرض – وهو أكثر مقياس مؤثر لتقليل الكوارث. وتستطيع أجهزة الملاحظة والرصد أن تسجل إشارات الزلازل او تغير درجة حرارة الأرض أو تحرك الصهارة، مما يؤدي إلي

انتفاخ البركان وانبثاق الغاز، أو تغيرات الحرارة عند مخارج البخار والينابيع الحارة على البراكين، والتي تحذر من ثورة على وشك الحدوث. كما يمكن إخلاء البشر الموجودين في نطاق الخطر تحت إشراف السلطات المختصة. كما أنه لا يمكن منع الثورات البركانية، إلا أنه يمكن تقليل مخاطرها بدرجة معقولة، بتضافر جهود العلماء ووضع برامج تثقيفية للناس.

وكما أسلفنا، فإن الثورات البركانية لا يمكن التحكم فيها، إلا أنه في بعض الحالات الخاصة ، يمكن تقليل الأضرار الناجمة عنها على نطاق محدود. وربما كان من أنجح المحاولات للتحكم في النشاط البركاني ما حدث في أيسلندة في يناير ١٩٧٣م، حيث تم رش اللابة المتقدمة في البحر. وقام المواطنون بتبريد اللابة وبالتالي تقليل انسيابها، كما منعوها من سد مدخل الميناء وحافظوا على بعض المنازل من الدمار.

وبالنسبة للمستقبل، فإن أفضل سياسة لحماية الأحياء من خطر البراكين، هو إنشاء أنظمة للتحذير و الإخلاء أكثر تقدماً، وحظر إنشاء مجتمعات عمرانية في الأماكن الخطرة بصورة أكثر صرامة. إلا أن هذه التدابير الوقائية قد لا تفيد كثيرا، عندما ينشط فجأة بركان ساكن أو خامد لفترة طويلة، مثل بركان فيزوف وسانت هيلين.

- الاستفادة من البراكين:

لقد رأينا بعضا من المناظر الطبيعية الجميلة لجبال البراكين وأيضا بعضا من آثارها التدميرية. كما تقدم البراكين أيضا بعض الفوائد لرفاهية الإنسانية. فكما ذكرنا في الفصل الأول فإن نشأة الغلاف الجوي والمحيطات ربما ترجع إلي النشاط البركاني في الماضي البعيد عند نشأة الأرض. وتتميز التربة المتكونة من الموادالبركانية بأنها عالية الخصوبة بسبب وجود بعض المعادن التي تحتويها. وتعتبر الصخور البركانية والغازات والبحار أيضا مصادر للمواد الصناعية والكيماويات، مثل البيومس (الحجر الخفاف) وحمض البوريك والأمونيا والكبريت وثاني أكسيد الكربون وبعض الفلزات. كما أن تحرك ماء المحيطات ودورته في شقوق حيود وسط المحيط عامل مهم في تكوين بعض الخامات المعدنية.

وتستخدم الطاقة الحرارية للبراكين في أماكن عديدة في العالم، كما يتزايد استخدمها بمرور الوقت. فمعظم المنازل في بعض مناطق أيسلندة يتم تدفئتها بمياه ساخنة

مستمدة من الينابيع الحارة. كما يستغلالبخار الساخن والناشيء من ماء ارتفعت درجة حرارته نتيجة ملامسته لصخور بركانية ساخنة تحت سطح الأرض كمصدر للطاقة لإنتاج الكهرباء في إيطاليا ونيوزيلندة والولايات المتحدة الأمريكية والمكسيك واليابان والاتحاد السوفيتي السابق.

أهمية البراكين:

١- معرفة تركيب القسم الداخلي من قشرة الأرض والقسم الخارجي من الغلاف الأرضي ؛ لأن الحمم تصدر من هذا المستوى، عمق نحو ٤٥٠ كيلومتر.
٢- تدل على مواقع الضغط في قشرة الأرض ؛ إذ أن مواقع البراكين تتفق مع مواقع الضغط في القشرة حيث توجد تصدعات مهمة وعميقة.
٣- مصدر لتكون بعض المعادن ذات القيمة الاقتصادية.

٤- يساعد الرماد البركاني على خصوبة التربة الزراعية.
٥- يمكن استخدام حرارته لتوليد الطاقة الكهربائية.
٦- تشكّل الينابيع ذات المياه الحارّة والتي تعرف بالحمامات.
٧- تشكّل الجزر ذات المناظر الخلّابة وسط البحار.

الفصل الثامن: الزلازل وتركيب الأرض



مفهوم الزلازل:

علي الرغم من الزلازل قديمة قدم الأرض نفسها.. وان كوارثها المفجعة كانت كثيرة الحدوث في الماضي .. وأنها مازالت تحدث في الوقت الحاضر بين الحين والحين .. فان دراستها علي أساس علمي سليم لم تبدأ إلا في أواسط القرن التاسع عشر .. وقبل ذلك كانت كل محاولات تفسيرها غير مبنية علي أي أسس علمية .. مما ترك المجال لانتشار التفسيرات الخرافية بين العامة في مختلف بلاد العالم .. وتدخل الدراسات الحديثة للزلازل ضمن علوم الطبيعة الأرضية Geophysics .. ومع التقدم السريع في كل العلوم وغيرها انسلخت منها علوم كثيرة تخصص كل منها في أحد الفروع الدقيقة .. ومن بينها علم السيسموجرافيا أو علم دراسة الزلازل .. ولئن كان الإنسان قد استطاع بفضل التقدم العلمي أن يحمي نفسه من بعض الظاهرات الطبيعية الخطيرة .. فأنة مازال عاجزا عن أن يحمي نفسه من خطر الزلازل .. لأنها تحدث دائما فجأة وبغير إنذار .. وقد حاول بعض العلماء المهتمين بدراسة الزلازل أن يتوصلوا إلى طريقة يمكن بواسطتها التنبؤ باقتراب حدوثها .. ولكن جميع المحاولات لم تصادف نجاحا يستحق الذكر .. وكل ما أمكن عمليه لتقليل الخسائر التي تنجم عنها في المناطق التي تتعرض لها هو إقامة المباني بشكل خاص وبمواد معينة تستطيع مقاومة الهزات الأرضية .. فقد تبين مثلا أن الإسمنت المسلح هو اصلح مادة للبناء في هذه المناطق .. وكلما كان حجم المباني صغيرا وارتفاعه قليلا كانت مقاومته للهزات الأرضية كبيرة .



صدع وشقوق في الأرض سببه زلزال

ولكن ماذا تعرف عن الزلازل ؟ ..

إن العلم الحديث يعرف الزلازل علي أنها هزات ارضية سريعة قصيرة المدى تحدث الواحدة تلوا الأخرى أو في فترات متقطعة ومرات عديدة تنتاب القشرة الأرضية.. وهي أما أن تكون ضعيفة لا يشعر بها الإنسان أو تكون قوية مدمرة .. وقيل : هي كسر هائل يحدث في القشرة الأرضية في المناطق القريبة من البحار والمحيطات ويستمر الكسر المفاجئ عدة ثوان لتدمير ما فوقها .. و قيل : هي هزات تنشأ عن تصدع الصخور علي سطح الأرض أو علي أعماق كبيرة في داخلها .. أو نتيجة ثورة البراكين .. أن الزلازل والبراكين ظاهرتان متوافقتان في أحوال كثيرة بل أن بعض الزلازل تسببها انفجارات بركانية .. كما قد تثور البراكين عقب وقوع الزلازل .. الزلازل هي رجات خاطفة سريعة تضرب الأرض ومن عليها بغتة نتيجة موجات ذبذبية عالية فيها .. وينتاب الأرض نحو مليون هزة في السنة أي بمعدل ٢٧٤٠ مرة في اليوم أو ١١٤ مرة في الساعة أو نحو مرتين في الدقيقة .. فالأرض كوكب قلق يرتجف باطنه ويغلي بالحمم .. فقد تزلزلت وانفجرت فيها البراكين والزلازل منذ آلاف ملايين السنين قبل ظهور الإنسان .. وتعرف الأماكن والمواقع التي تتركز فيها ضربات الزلازل علي سطح الأرض باسم الأحزمة أو النطاقات الزلزالية .. وهي أماكن لها صفات جيولوجية خاصة .. وبعض المدن التي تقع في هذه الاحزمة الزلزالية تعد مدن منكوبة حيث تتعرض بصفة دورية للتدمير الجزئي او الكلي بفعل الزلازل مثل مدينة ماناجوا في نيكاراجوا بأمريكا الجنوبية .

إن ما تتعرض له أرضنا من زلازل والذي يقدر بحوالي مليون زلزال في السنة الواحدة .. يذكرنا دائما أن أرضنا غير مستقرة ودائمة التغير .. وأنها تتأثر بقوي عديدة تعمل علي تكسير وتماسك صخورها .. والزلازل والحركات الأرضية الأخرى دليل واضح علي أن صخور القشرة الأرضية يعاد بناءها وتشكليها باستمرار .. وقد أمكن عن طريق الرصد الزلزالي في أماكن عديدة من العالم تحديد مناطق عدم الاستقرار علي سطح الكتلة الصلبة . أن زيادة وزن الرواسب السطحية .. تؤدي إلى عدم توازن القشرة الأرضية حيث تسبب ضغط عليها ونتيجة لهذا .. الأرض تحاول تفريغ الطاقة المخزونة الموجودة في باطنها .. واستعادة توازنها من جديد.. قال تعالي:" اذا زلزلت الأرض زلزالها وأخرجت الأرض أثقالها " الزلزلة ١-٢ ".. فكلمة الاثقال هنا .. تعني الطاقة المخزونة في باطن الأرض وهذا من الاعجاز القرآني الذي بين ذلك منذ ١٤٠٠ سنة .. فقد بين العلم اخير أن هناك علاقة بين الكتلة والطاقة كما اوضحها العلم آينشتين في معادلته الشهيرة .. الطاقة = الكتلة المتحولة x مربع سرعة الضوء) .. لان زيادة الضغوط في أي منطقة يحدث ثني في الصخور فتهبط لأسفل .. ويعقبة شد وجذب مما ينتج عنه شروخ في الصخور بعد زيادة معينة لهذه الضغوط .

وهذا يفسر في علم الأرض بنظرية التوازن الثابت أو الايزوستاتيكي للقشرة الأرضية .. وهي تقول أن القشرة فى توازن (أى ان حالة البناء موازية لحالات الهدم) فى الأجوال العادية .. وفى الحقيقة أن عملية البناء او استعادة التوازن لا يتم بنفس السرعة التى تسير بها عمليات التأكل

والتعرية .. وهذا هو السبب فى وجود مناطق كثيرة من العالم فى حالة عدم توازن لمدة طويلة تبدأ بعدها عملية استعادة التوازن فى بطئ .. ونجد القرأن يخاطبنا منذ ١٤٠٠عام في آيه واضحة جليلة حيث يقول سبحانه وتعالى: "والقى في الأرض رواسى أن تميد بكم " النحل ١٥".. وهذا هو ما يعرف الأن بأسم قانون التوازن .. حيث أن المادة الأقل وزنا ارتفعت على سطح الأرض في حين بقيت أماكن المادة الثقيلة منخفضات هاوية وهى التي نراها ممثلة لقشرة أعماق المحيط .. وهكذا نجد أن الارتفاع والانخفاض استطاعا أن يحافظا على توازن الأرض.

علم الزلازل: هو الدراسة العلمية لكل من الزلازل وانتشار الموجات المرنة في جميع أنحاء الكرة الأرضية أو عبر الأجسام الأخرى التي تشبه الكوكب. ويتضمن هذا المجال دراسات حول تأثير الزلازل مثل التسونامي والمصادر الزلزالية المتنوعة مثل العمليات البركانية والتكتونية والمحيطية وعمليات الغلاف الجوي والعمليات الصناعية (مثل الانفجارات). وهناك مجال ذو صلة يستخدم الجيولوجيا لاستنتاج المعلومات المتعلقة بالزلازل السابقة ويسمى دراسة السجلات الزلزالية القديمة. ويعرف سجل الحركة الأرضية المرتبة ترتيبًا زمنيًا باسم السجل الزلزالي. وعالم الزلازل هو عالم متخصص يجري بحوثه في علم الزلازل.

هناك كثير من المخاطر الجيولوجية في العالم تؤثر على حياة البشر وممتلكاتهم، والزلازل من أكثر مسببات الكوارث لأنها تحدث فجأة، ويمكن أن تتسبب في تدمير كبير وخسائر فادحة في الأرواح، تحدث الزلازل في مناطق زلزالية معروفة، وهي ما تعرف بالأحزمة الزلزالية، لا سيما على طول حدود الصفائح الحركية (التكتونية) للقشرة الأرضية، حيث يوجد العديد من الصدوع النشطة، وتحدث بسبب الضغط على الصخور، خاصة في القشرة الأرضية، مما يسمح بحدوث الحركات المفاجئة على طول التشققات أو الصدوع، ويؤدي ذلك إلى تحرر الضغط في المنطقة في شكل أنماط عديدة من الموجات السيزمية المرنة، التي قد تسفر عن خسائر في الأرواح وأضرار في المنشآت، معظم هذه الأضرار تنشأ من الهزات الأرضية التكتونية التي تتركز بشكل أساسي على حواف الصفائح المكونة للقشرة الأرضية. كما أن ثوران الصخور النارية أو البراكين يحدث في العديد من حدود الصفائح.

تحدث الزلزال عموماً نتيجة انطلاق طاقة المرونة لمختزنة في باطن الأرض. وتوجد معظم الزلزال عند حدود الألواح أو بالقرب منها . كما يوجد الكثير من الزلزال أيضا في المناطق المستقرة تكتونيا بعيداً عن حدود الألواح في القشرة الأرضية، ولكنها تكون قليلة الحدوث عادة.

وفي الحقيقة، فليست الزلازل شرا دائما. حيث تعتبر الزلازل وسيلة مهمة من وسائل الحصول على المعلومات عن طريقة عمل الأرض. كما تستخدم الزلازل لدراسة الأجزاء الداخلية من الأرض أيضا، حيث إن الطريقة التي تهتز بها الأرض عقب الهزات الكبيرة تعتمد أساساً على صفات ونوعية الصخور داخل الأرض. وتشبه هذه الطريقة، استخدام الطبيب للأشعة السينية لفحص جسم الإنسان من الداخل، فالزلازل هى أدوات نستخدمها لدراسة الرض من داخلها.

وسنستعرض في هذا الفصل تعريف الزلازل، وأسباب وأماكن حدوثها وشدتها، ولماذا تحدث في مناطق بعينها، بالإضافة إلي استخدام الزلازل في دراسة باطن الرض.

نظرية الحرارة الباطنية:

صاحب هذه النظرية هو الأستاذ (هوبكنر Hopekiner) ، وهو يفترض أن الحرارة الشديدة في باطن الأرض ناجمة عن مواد شبه سائلة و أن الأدلة تشير إلى تغيرات كيميائية تحدث فيها فتسبب تلك الحرارة .

كلنا نعرف أن القشرة الأرضية مكونة من من مركبات من الصخور و المعادن ، و يدخل فيها مركبات عضوية و غير عضوية و أن أي تغيير يحدث لتلك المواد في باطن الأرض يعمل على زيادة الحرارة زيادة قوية ، و يرى الأستاذ (ليمري Lemery)أن عنصري الحديد و الكبريت إذا إتحدا ثم تعرضا إلى بخار الماء ، يعملا على زيادة الحرارة لا سيما في باطن الأرض حيث الحرارة و الضغط الشديدين ، كما أن عنصر إيودين النتروجين له تأثير في زيادة حرارة نواة الأرض.

هل الغازات المحبوسة في باطن الأرض هي السبب في حدوث الزلازل ؟

يعتقد العلماء أن الغازات المحبوسة في باطن الأرض ، سواء كانت سائلة أم غازية لها تأثير كبير في إحداث إهتزازات عنيفة في قشرة الأرض أو إنفجارات بركانية ، و هذه الغازات تنكمش أحيانا و تتمدد أحيانا أخرى ، و في هذه الحالة تحدث موجة من المد تخترق طبقات الصخور في قشرة الأرض ، في إتجاه أفقي أو رأسي ، ينتتج عنها الهزة الأرضية .

ما هي أسباب حدوث الزلازل؟

تتعرض القشرة الأرضية ضمن ظروف معينة إلى هزات تتفاوت شدتها من مكان إلى آخر، تسمى هذه الهزات بالزلزال، الذي ينتشر خلال طبقات الأرض على شكل موجات إما موجات أساسية أو موجات ثانوية.

تعرضت الأرض خلال التاريخ الإنساني إلى العديد من الزلازل منها ما كانت شدته طفيفة لا يشعر بها الإنسان، إنما سجلته أجهزة السيزموغراف، ومنها ما هو شديد أثر على جميع الكائنات الحية، وهدد حياتهم ودمرها.

هنالك العديد من الأسباب التي تؤدي إلى حدوث الزلزال :

عندما يحدث اضطراب في توازن طبقات الأرض يؤدي ذلك إلى حدوث الزلزال، ويحدث هذا الاضطراب نتيجة انتقال كميات كبيرة من الرسوبيات وعلى فترات طويلة من الزمن على مساحة من الأرض، بالتالي زيادة الثقل على تلك المنطقة التي تتدنى عن مستواها السابق وتؤدي

إلى إحداث اختلال بمستوى الطبقات الأخرى، فتتحرك طبقات من القشرة الأرضية، يحدث الزلزال.

يحدث في باطن الأرض الكثير من العمليات نتيجة لارتفاع درجة الحرارة في جوف الأرض، وبذلك تنصهر العديد من العناصر المكونة للطبقات الصخرية، وبالتالي تتآكل مساحات معينة من الطبقات الصخرية وتبدأ هذه الطبقات بالحركة تلقائياً، بعد ذلك يحدث الزلزال.

يمكن تلخيص الأسباب الرئيسية فيما يلي :

١ – عامل الحرارة الباطنية الكامنة في باطن الأرض.
٢- تقلصات القشرة الأرضية نبعا لانكماش المائع الناري و تمدده .
٣– الحرارة تزداد باستمرار كلما تعمقنا في باطن الأرض و اقتربنا من المواد الباطنية المسماة (Magma) و هي المسؤولة عن حدوث الزلازل و البراكين عندما تتمدد .
٤– تتمدد المواد الباطنية تحت تأثير الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيماوية المستمرة في نواة الأرض .
٥– الموجات الكهربية التي تحيط بالأرض .
٦– علاقة الموجات الكهربية بالتفاعلات الكيماوية .
٧ - المواد الإشعاعية (Radeoactive) الموجودة في باطن الأرض ، و الطاقة النووية الهائلة المنبعثة من تحطم الذرات في اليورانيوم و الثيوريوم .
٨ – وجود الغازات المحبوسة داخل الأرض و تسخينها يساعد أيضا في حدوث الزلازل.

انواع الزلازل:

أوضحت الدراسات الحديثة أن هناك نوعين من الزلازل:

النوع الأول : ينتج من حدوث حركة تكتونية مفاجئة " .. ويطلق عليه لهذا السبب "الزلازل التكتونية " .. وأهم الحركات التي تسبب هذا النوع هي حركات التصدع وما يصاحبها من انزلاق في التراكيب الصخرية تحت سطح الأرض .. أن السبب المباشر في حدوث هذه النوعية من الزلازل ، هو انكسار الصخر انكسار مفاجئا نتيجة تصدعات في صخور القشرة ا لأرضية بسبب انزلاق الألواح التكتونية بعضها لبعض في اتجاه متضاد في حدود الصدوع الناقلة .. فعلى جانبي الصدع تتحرك الألواح التكتونية فى اتجاهات متضادة وبنشا عن هذه الحركة تولد اجهادات بالصخور وبالتالي تحدث الزلازل .. ومن أسباب حدوث الزلازل أيضا أندساس أحد الألواح التكتونية تحت الآخر مما يؤدى إلى تكون زلازل تختلف في عمقها ..

النوع الثاني : فيرتبط حدوثه بالثورانات البركانية وما يصاحبها من حركات عنيفة تؤدى إلى اندفاع المواد المنصهرة أو الغازية بقوة بين طبقات الصخور .. ويطلق عليه "الزلازل البركانية " .. وهى أقل حدوثا بصفة عامة من الزلازل التكتونية .. وقد يظن البعض أن الزلازل سببها

توتر (نتيجة انضغاط البخار في جوف الأرض) يحدث في طبقات الأرض .. فإذا زاد على الحد فرج عن نفسه بأن حطم هذه الطبقات فتتصدع وتنشق ويحدث هذا في سائر بقاع العالم تسير في كل وجهه وكل مذهب كما يسير الموج في الماء عندما تقذف فيه بالحجر .. وهذه كلها أسباب .. والله مسبب الأسباب ومجري الأفلاك ذو كلمة بالغة وذو قدرة مقتدرة .. قال تعالى " ونخوفهم فما يزيدهم إلا ضغيانا كبيرا.الأسراء٦٠.

أما النوع الثالث: الهزات الأرضية الاصطناعية أو غير الطبيعية:

هذه النوع من الهزات الأرضية ينتج من الأنشطة البشرية مثل استخدام المواد المتفجرة للأغراض الصناعية والتفجيرات النووية، وبناء السدود العالية والبحيرات الاصطناعية العميقة وعمليات استخراج المياه والنفط وما إلى ذلك، وربما تسبب هذه الهزات الأرضية في حدوث كارثة أحياناً.

يمكن لجميع أنواع الزلازل أن يسبب أضراراً كبيرة على البشر وممتلكاتهم بجانب الأضرار المباشرة للصدوع السطحية، وقد تتسبب الهزات الأرضية أيضاً في تساقط الصخور وتسييل (تمييع) التربة المحلية وانهيار الطمي الكثيف، وينتج من ذلك تدمير المباني والمنشآت والبنى التحتية وخسائر بشرية، على الرغم من تسجيل ورصد الملايين من الهزات الأرضية بقوى مختلفة يتم رصدها على مدار السنة في العالم بواسطة أجهزة قياس الهزات الأرضية، إلا أن معظمها لا يشعر بها الناس. في الواقع، تحدث العديد من أكبر الهزات الأرضية بعيداً عن المناطق المأهولة بالسكان، مثل حيود منتصف المحيط، وعلى طول مناطق اندساس الصفائح التكتونية، حيث تصل أعماق مراكز الزلازل إلى عدة مئات من الكيلومترات .

تقسم الزلازل إلى ثلاث أنواع تبعا للأعماق التي تحدث عندها وهي:

1- الزلازل الضحلة أو القريبة من السطح: ويتراوح عمقها بين سطح القشرة الأرضية حتى عمق٣٣كم، وهي من أكثر أنواع الزلازل تدميرا.

2-الزلازل المتوسط العميق :ويتراوح عمقها ما بين ٣٣ - ٣٠٠ كم من سطح القشرة الأرضية.

3- الزلازل العميقة: ويتراوح عمقها ما بين ٣٠٠ -٧٠٠ كم من سطح الأرض.

وعند حدوث أي زلزال يكون الاضطراب اقوي ما يكون في المنطقة التي تقع فوق مركز الزلزال أو بؤرته .. والبؤرة الزلزالية هي النقطة التي بيدا منها الزلزال وتكون عادة موجودة علي عمق عدة كيلومترات تحت سطح الأرض .. ومن هذه البؤرة تنتشر الموجات الزلزالية في جميع الاتجاهات تقريبا وأول نقطة تصل اليها علي سطح هي النقطة التي تقع فوق البؤرة ويطلق عليها اسم " المركز السطحي " .. وهي المنطقة التي يقع فيها معظم التخريب والتدمير وتتناقص شدة الهزة الزلزالية بسرعة خارج هذه المنطقة .. وقبل حدوث أي زلزال تحدث بعض الارتعاشات الضعيفة نسبيا ثم يحدث الزلزال القوي ثم يتبعه بعض الارتعاشات الضعيفة التي لا

يشعر بها الإنسان ولكن تسجلها الأجهزة فقط .. ويمكن تقسيم المنطقة المحيطة بمنطقة فوق المركز إلى أحزمة ونطاقات متتالية بواسطة خطوط منحنية يوصل كل خط منها بين جميع النقط ذات الشدة الزلزالية الواحدة وتسمي هذه الخطوط بخطوط الزلزلة المتساوية .. والزلازل عملية شائعة الحدوث جدا .. لدرجة أن المراصد الآم في أنحاء العالم المختلفة تسجل آلاف منها في كل عام .. ولكن معظم هذه الزلازل ليست إلا هزات أرضية بسيطة وللآسف الي الآن لا يمكن لأي جهاز أن يتنبأ بحدوث زلزال بشكل قاطع رغم تقدم الأجهزة العلمية المستخدمة في رصد وتسجيل الزلازل.

طاقة الزلازل:

والأن ربما يتساءل البعض.. من أين للزلزال هذه الطاقة الكبيرة المدمرة ؟ وكيف ينتقل تأثيرها ليشمل مساحات واسعة من الأرض ؟

وللإجابة علي هذا التساؤل نقول: انه عندما تتكسر الصخور وتحدث زلزالا.. فانه الطاقة الهائلة التي تنطلق نتيجة للكسر هي التي تسبب الدمار .. وتنتقل هذه الطاقة علي شكل موجات زلزاليه تشبة إلى حد كبير الأمواج التي تحدث بشدة علي سطح الماء عندها نلقي به بحجر .. ومن الجدير بالذكر ان سرعة الزلازل او الهزات الأرضية (الموجات الزلزالية) تختلف باختلاف نوع الصخور .. فهي حوالي ٣٠٠ متر / ثانية في الرمال المفككة بينما تبلغ ٣٠٠٠ متر / ثانية في الجرانيت . ويعد الزمن الذي يحدث فيه الزلزال عامل يؤثر في حجم التدمير بالإضافة إلى بعد المسافة من مركز الزلزال ونوعية الطبقات الأرضية والصخور التي أنشئت عليها المباني .. لان هناك طبقات صخرية جيدة التوصل للهزات الأرضية ، وأخري رديئة التوصل .. أي تستطيع أن تمتص اثر الهزة كما في طبقات الرمال والطفلة.

عندما تهتز الأرض، فكأنها قد ضربت بمطرقة ضخمة. ويرجع السبب في هذا الاهتزاز إلي الانطلاق المفاجئ للطاقة المختزنة في الصخور عندما تزيد عن حد المرونة وتتشوه الصخور بالكسر. وتنطلق الطاقة عندئذ في ثلاث صور:

(١) **طاقة اهتزاز:** (موجات زلزالية).

(٢) **طاقة وضع:** تتحرك بسببها أجزاء من الارض.

(٣) **طاقة حرارية:** نتيجة الاحتكاك. وكلما زادت كمية الطاقة المنطلقة كلما زادت قوة الزلزال.

ويمكن فهم كيفية حدوث الزلزال، بأن نقوم بطرق سطح منضدة خشبية عند أحد طرفيها بينما نضع يدنا على طرفها الآخر، فإننا نشعر بحدوث ذبذبات نتيجة انتقال الطاقة التي سببها طرق سطح المنضدة وانتقالها إلي اليد بواسطة الذبذبات المرتة خلال الخشب على امتداد المنضدة.وتعني كلمة زلزال earthquake اهتزاز الأرض وتذبذبها. وقد تحدث الزلازل نتيجة

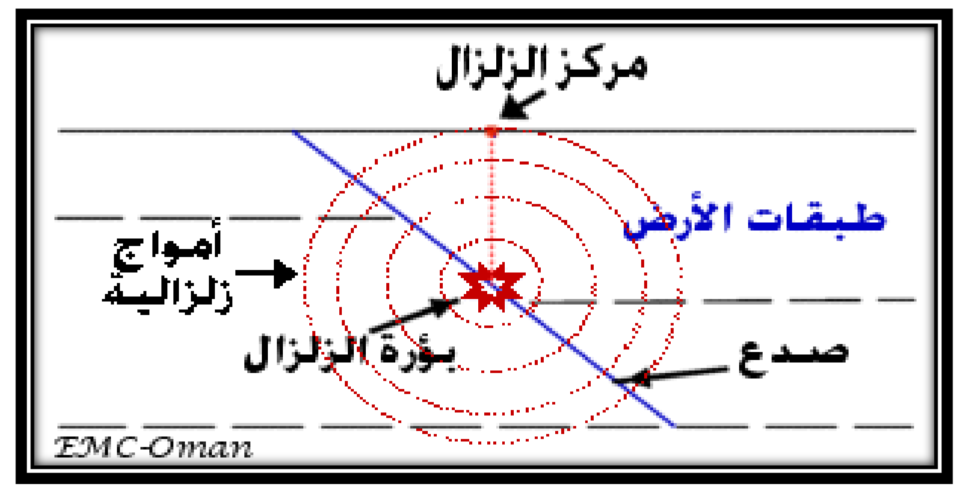
نشاط بركاني أو تصادم النيازك الساقطة من لسماء بسطح الأرض أو الانهيارات الأرضية تحت سطح البحر أو الانفجارات النووية، ولكن أكثر أسباب الزلازل شيوعاً هو التحرك المفاجئ للأرض على امتداد الصدوع. والصدع هو كسر في الأرض تتحرك الصخور على جانبية بمحاذاة بعضها البعض.

وتعتبر نظرية الارتداد المرن أكثر النظريات قبولاً لتفسير أسباب حدوث الزلازل. وقد وضعت هذه النظرية بناءا على الدراسة التفصيلية لصدع سان أندرياس والذي حطم مدينة سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦م، وهو صدع مضربي الانزلاق بين لوح شمال أمريكا ولوح المحيط الهادئ.

– نشأة الزلازل :

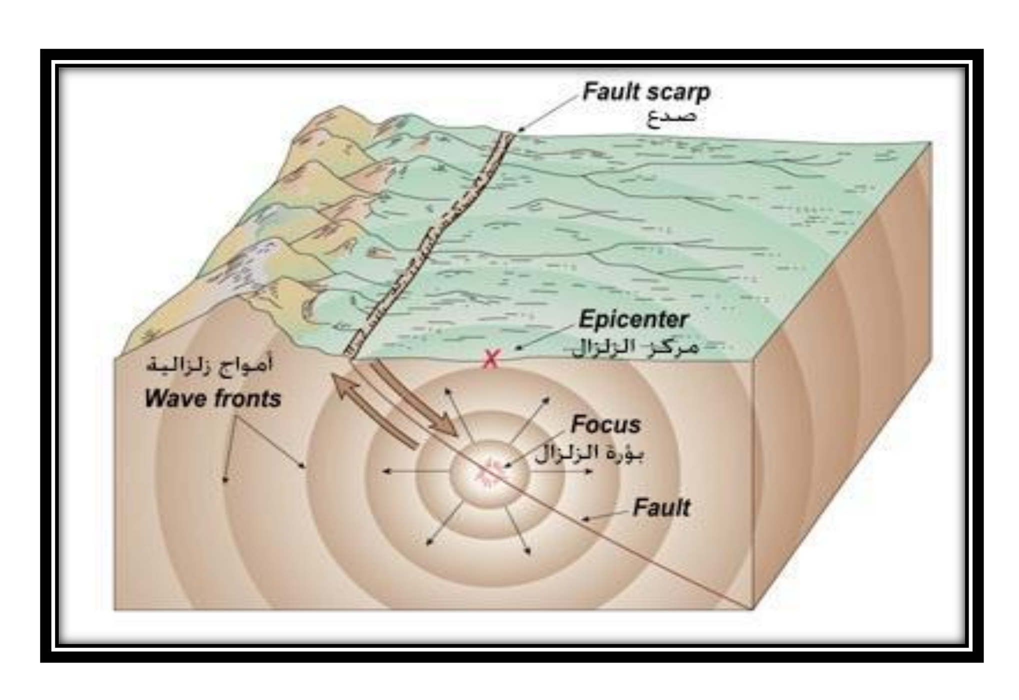
يبدو أن التحرك المفاجئ على امتداد الصدوع هو السبب في معظم الزلازل، إلا أن الأمر ليس بتلك البساطة، فبعض الزلازل قد تكون أقوى ملايين المرات من زلازل أخرى. ويرجع السبب في ذلك إلي أن الطاقة نفسها التي تنطلق نتيجة آلاف الانزلاقات البسيطة والزلازل الضعيفة، يمكن أن تختزن في حالة أخرى لتنطلق في زلزال واحد ضخم. فطبقا لنظرية الارتداد المرن elastic rebound theory فإنه إذا لم تنزلق أسطح الصدع بسهولة بمحاذاة بعضها البعض، فإن الطاقة قد تختزن في أجسام الصخر المشوهة تشويها مرنا مثلما يحدث عند ضغط زنبرك من الصلب. وعندما ينزلق الصدع أخيرا، فإن الجسم الصخري المشوه تشويها مرنا يرتد إلي شكله الأصلي.

ولتخيل ما يحدث في زلزال ما، وطبقا لتلك النظرية، فعند وجود صدع بين كتلتين من صخور القشرة الأرضية، وإذا لم تنزلق الكتلتان على سطح الصدع بالنسبة لبعضهما البعض بسهولة، فإن الاحتكاك بين الكتلتين قد يتسبب في قفل locking تلك الصخور ببعضها، كما يمنع الحركة على امتداد الصدع لسنوات أو حتى عدة عقود. وخلال عدة سنوات، ونتيجة استمرار عملية دفع كتل الصخور في اتجاهين متضادين، تختزن الصخور الموجودة على امتداد الصدع الطاقة الناتجة من حركة الألواح، حيث تكون تلك الصخور مجهدة ومشوهة تشوهاً مرنا elastically deformed، أو تنحني ببطء. ويتم في لنهاية التغلب على الاحتكاك، عندما تصل الصخور إلي حد المرونة elastic limit وتتكسر. ويؤدي تكسر الصخور إلي انطلاق طاقة المرونة المتراكمة في الصخور، والتي تتحرك فجأة على امتداد الصدع، مما يؤدي إلي حدوث الزلزال.



رسم تخطيطي يبين كيفية نشأة الزلازل

وتحدث حركة كتلتي الصدع في مجموعة من التحركات القصيرة التي تبدأ عند البؤرة (الزلزالية) focus (نقطة الكسر الأولى) وتتحرك على امتداد الصدع، حيث تنشأ من الطاقة موجات زلزالية تنتشر للخارج من البؤرة الزلزالية لتسبب اهتزاز الأرض. وتقع البؤرة الزلزالية في أعماق الرض وتحت سطح الأرض، وهى تمثل النقطة التي تبدأ عندها حركة الصدع وانزلاق الكتلتين. وتسمى النقطة التي تقع فوق البؤرة الزلزالية مباشرة فوق سطح الأرض بالمركز السطحي للزلزال epicenter. وعموماً، فإنه من الأجدر عند وصف بؤرة الزلزال تحديد المركز السطحي للزلزال وعمقه.



البؤرة الزلازالية

وتقع معظم الزلزال في صخور الغلاف الصخري القصفة. فإن التقصف brittleness هو قابلية المواد الصلبة لأن تتكسر نتيجة زيادة الإجهاد عن حد المرونة. وفي الأعماق البعيدة عن سطح الأرض تكون درجات الحرارة والضغط عاليين مما يسبب تشوه الصخور تشوهاً لدنا. ولذلك، تشبه الصخور عند تلك الأعماق المعجون، ويتغير شكلها تغيراً دائماً يبقى بعد زوال القوى التي تسبب التشوه، ولذلك فإن الزلازل ظاهرة توجد في الجزء الخارجي القصف من القشرة الأرضية.

- **تسجيل الزلازل:**

وعن كيفية تسجيل الزلازل.. فهي تسجل بواسطة جهاز يعرف بالسزموجراف .. ويمكن أن يسجل شده الزلزال ووقت حدوثه والمدة التي استغرقها .. ويتركب السيزموجراف في ابسط صورة من قائم رأس مثبت في الصخور بوساطة أساس من الأسمنت .. ويتدلي من أعلي هذا القائم زئبرك لولبي مثبت في نهايته ثقل معدني.. ويثبت في هذا الثقل ذراع في نهاية سن قلم رفيع يرتكز علي اسطوانة تسمي (اسطوانة التسجيل) .. وهذه الاسطوانة مثبتة في القاعدة الأسمنتية وملفوفة بورق تسجيل عليها الوقت .. وهي تدور ببطء بوساطة جهاز زمني .. فعند حدوث زلزال فان الاسطوانة تهتز أما الثقل المعدني فانه يبقي ثابتا لان السلك الزنبركي يمتص الاهتزاه .. وبذلك فانه القلم يرسم علي ورق الاسطوانة خطا متعرجا ويعرف هذا الخط بالسجل الزلزالي او السيزموجرام .. وأما إذا لم تحدث اهتزازات في الصخور فانه الخط يكون مستقيما . ولكي نتمكن من المقارنة بين درجة تأثير مختلف الهزات الزلزالية ونتائجها في مختلف الأماكن .. فقد

انشأ المختصون بالدراسات الزلزالية مقياس مختلف لمعرفة درجة التأثير وفي الجدول التالي نورد أحد المقاييس الذي تقسم الزلازل عام واحد حسب شدتها معتمدا علي مقياس رختر :

قوه الزلزال حسب مقياس رختر	عدد الزلازل في العام	تأثير الزلازل علي المناطق السكنية
اقل من ٣,٤	٨٠٠٠٠	لا يشعر به الا السيزموجراف
٣. ٥. ٤,٢	٣٠٠٠٠	يشعر به بعض الناس
٤,٣. ٤,٨	٤٨٠٠	يشعر به كثير من الناس
٤,٩ . ٥,٤	١٤٠٠	يشعر به جميع الناس
٥,٥ . ٦,١	٥٠٠	بعض التلف في المباني

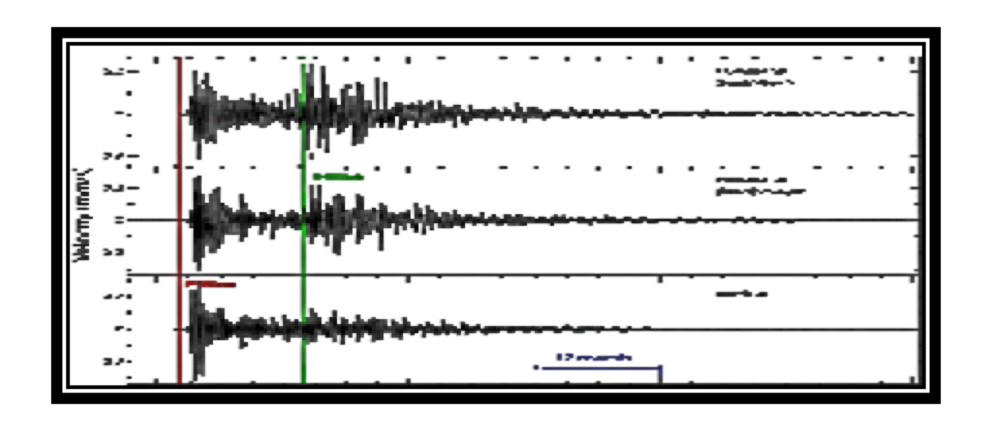
٦,٢ ـ ٦,٩	١٠٠	تلف كبير في المباني
٧ ـ ٧,٣	١٥	تلف في المباني- تشقق الجدران- اعوجاج الجسور
٧,٤ ـ ٧,٩	٤	دمار كبير- انهيار في المباني
اكثر من ٨	زلزال كل خمسة أو عشره أعوام	دمار عام ومطلق

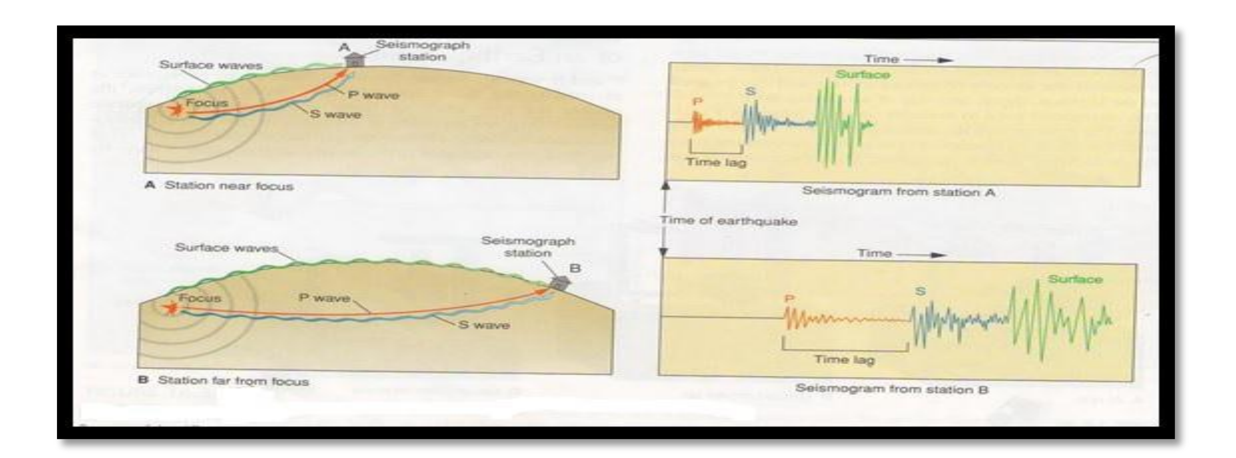


أجهزة الرسم الزلزاليSeismograph

– الموجات الزلزالية:

تطلق الأرض عندما تهتز طاقة في صورة موجات زلزالية seismic waves، تنطلق من البؤرة الزلزالية عبر القشرة الأرضية لتصل إلي السيزموجراف على هيئة موجات داخلية (جسمية) body waves تنتقل في جسم الأرض بالكامل. وتتداخل الموجات الداخلية (الجسمية) المنعكسة من سطح الأرض مع تلك القادمة من أسفل لتكون موجات سطحية surface waves تتحرك بالقرب من سطح الأرض فقط. والموجات الداخلية هى الأسرع، وتشمل موجات أولية وموجات ثانوية.



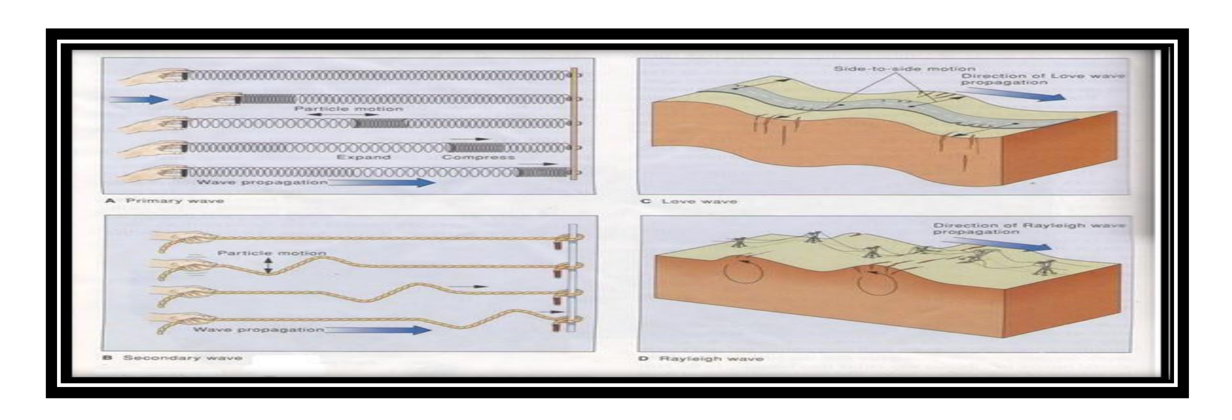


طول الموجات الزلازالية الي موقع التسجيل

١ – الموجات الأولية :

الموجة الأولية primary wave أو موجة بي (P wave) هى الموجة السرع والأسبق في الوصول إلي محطة التسجيل. وتتحرك الموجات الأولية في نظام دفعي – جذبي push – pull fashion للذبذبات، حيث تتبادل التضاغطات (دفع) مع التخلخلات (جذب) مثل موجات الصوت في الهواء، وتشبه الموجات الأولية في حركتها لعبة السلك الزنبركي التي تشد من طرف واحد .

وتتحرك الموجات الأولية في جميع المواد الصلبة والسائلة والغازية ولكنها لا تتحرك في الفراغ. وتتسبب الموجات الأولية في دفع أو جذب جزيئات المادة في اتجاه حركة الموجة. وهكذا فإن المواد التي تمر خلالها تلك الموجات تتمدد وتنضغط (أي تتحرك للأمام والخلف) نتيجة حركة الموجات خلالها، وتعود إلي شكلها الأصلي بعد مرور الموجات. وكلما زادت الكثافة والمقاومة للتضاغط، كلما زادت سرعة الموجات الزلزالية التي تمر في النظام الذري الداخلي للمواد. وتبلغ سرعة الموجات الأولية في الجزء العلوي من القشرة الأرضية حوالي ٦كم/الثانية، حيث تزداد كثافة الصخور، بينما تنخفض السرعة في الماء إلي حوالي ١,٥كم/الثانية. وتستطيع الموجات الأولية التحرك في الهواء، حيث تشبه موجات الصوت كما ذكرنا سابقاً.



الموجات الجسيمة.

٢ – الموجات الثانوية:

تلي الموجات الأولية الموجات الثانوية secondary waves أو موجة إس (S wave) في الوصول إلي السيزموجراف. وتعرف الموجات الثانوية بأنها موجات قص shear waves حيث إنها موجات مستعرضة تسبب اهتزاز جزئيات المواد التي تمر خلالها في اتجاه عمودي على اتجاه انتشارها. وتشبه حركة الموجة الثانوية حركة الحبل الذي يهز أحد طرفيه لأعلى وأسفل . وتتسبب تلك الموجات في حدوث إجهادات قص في المواد التي تمر خلالها، حيث تتشوه المواد التي تمر خلالها تلك الموجات ولا تعود إلي شكلها الأصلي إذا تعدى الإجهاد حد المرونة. وحيث أن معامل تماسك السوائل والغازات يساوي صفرا ولا تملك السوائل والغازات تلك المرونة التي ترتد بها إلي الشكل الأصلي، فإن الموجات الثانوية (موجات القص) لا تنتقل إلا في المواد الصلبة فقط ولا تمر في السوائل أو الغازات. وتبلغ سرعة الموجات الثانوية في صخور الجزء العلوي من القشرة الأرضية (مثل صخر الجرانيت) حوالي ٣٠٥ – ٤كم/الثانية، بينما تتوقف تلك الموجات عند مرورها في الماء. وتسبب حركات الموجات الثانوية الرأسية والأفقية اهتزاز سطح الأرض وبالتالي حدوث دمار للمباني.

وتسلك الموجات الزلزالية الداخلية (الجسمية) سلوك موجات الصوت والضوء، في أنهما يحتاجان لوسط ينتقلان خلاله، وكذلك لأن لهما القدرة على الانعكاس reflection والانكسار refraction. فالموجات الداخلية تنعكس على عديد من السطح الفاصلة بين الأوساط الصخرية داخل الأرض، كما أنها تنكسر عندما تتغير سرعة الموجات نتيجة انتقالها من وسط إلي وسط آخر مختلف في الكثافة، حيث تغير تلك الموجات مسارها. كما يحدث التغير في سرعة الموجات وانكسارها إما بشكل تدريجي أو مفاجئ.

وتعتمد سرعة الموجات الداخلية على كثافة الوسط الذي تمر خلاله تلك الموجات. فإذا كان تركيب الأرض متجانسا وكانت الكثافة تزداد تدريجيا مع العمق نتيجة زيادة الضغط، فإن الانكسار يسبب انحناء مسار الموجات الزلزالية. وقد أوضحت القياسات أن مسار الموجات يكون

منحنيا فعلاً نتيجة الانكسار التدريجي، كما أن الموجات الزلزالية تنعكس أيضاً وتنكسر نتيجة وجود عدة نطاقات تختلف فيها الكثافة بشكل مفاجئ، مثل الحد الفاصل بين اللب والوشاح.

٣ – الموجات السطحية:

تشمل لموجات السطحية التي تنتقل عبر سطح الأرض أو بالقرب منه عدة أنواع، أهمها: موجات لف وموجات ريلي. وتنشأ الموجات السطحية نتيجة تداخل الموجات الداخلية (الجسمية) والمنعكسة من سطح الأرض مع تلك القادمة من أسفل، مما يسبب اضطراب السطح. ويمكن تخيل هذه الأنواع من الموجات الصغيرة الدائرية التي تنشأ حول نقطة سقوط الحجر (والتي تشبه المركز السطحي الزلزال). وتعرف كل من موجات لف وموجات ريلي بموجات (L -L waves) لأنها موجات طويلة long waves. وتكون الموجات السطحية أبطأ عموما من

الموجات الداخلية(الجسمية)، حيث تصل تلك الموجات إلي محطة الرصد بعد الموجات الأولية والثانوية.

موجات لف: يمكن تعرف موجات لف على السيزموجرام، وهى الموجات التي تعرف عليها عالم الرياضيات البريطاني لف A. E. H. Love. وتشبه حركة تلك الموجات حركة الموجات الثانوية ماعدا أنها تنتقل من جانب إلي آخر في مستوى أفقي تقريباً مواز لسطح الأرض. وكما هو الحال في موجات القص S، تكون حركة الجزيئات بالاهتزاز أو القص في اتجاه عمودي على اتجاه الحركة للأمام ، ولكن في مستو مواز لسطح الأرض (يهتز الحبل من اليمين إلي اليسار). وعموماً تنتقل موجات لف أسرع من موجات ريلي ولا تنتقل موجات لف خلال الماء أو الهواء مثل موجات إس.

موجات ريلي: سميت تلك الموجات باسم العالم البريطاني لورد ريلي Lord Rayleigh، وتتحرك تلك الموجات في حركة دورانية إهليلجية (بيضاوية) للخلف ، مثل حركة جزيئات الماء في الموجات الناشئة بواسطة الرياح، ماعدا أن حركة الأمواج في الماء تكون دورانية للأمام . ويتسبب الاهتزاز بواسطة موجات ريلي في حركة رأسية وأخرى أفقية، وكلما كانت بؤرة الزلزال أقرب إلي السطح، زادت طاقة موجات إس وبي والتي تضرب السطح، وبذلك تزداد طاقة موجات ريلي. وتنتقل موجات ريلي في لمواد الصلبة والماء.

تحديد موقع الزلزال: تنتقل الموجات الزلزالية المختلفة بسرعات مختلفة، ولذلك فإنها تصل إلي السيزموجراف في أزمنة مختلفة. وأول الموجات الزلزالية وصولا إلي السيزموجراف وأسرعها هو الموجات الأولية التي تنتقل بسرعة تبلغ ضعف الموجات الثانوية تقريباً، التي تليها في الوصول. وتنتقل كل من موجات إس وموجات بي مباشرة من بؤرة الزلزال إلي السيزموجراف عبر جسم الأرض الداخلي. وآخر الموجات وصولا إلي السيزموجراف هو الموجات السطحية(موجات لف ثم موجات ريلي) حيث إنها أبطأ الموجات الزلزالية. كما أنها تنتقل عبر مسار أطول على امتداد سطح الأرض.

وقد تمكن العاملون في مجال الزلازل من جمع عدد ضخم من النتائج خلال السنوات الماضية استخدموها في تحديد متوسط زمن انتقال موجات بي وإس لأي مسافة. كما عملت منحنيات زمن الانتقال time – distance curves والتي توضح أنه كلما زادت المسافة بين السيزموجراف والمركز السطحي للزلزال epicenter، زاد الفرق بين زمن وصول موجات بي .

– قياس شدة وقدر الزلزال :

إن تحديد موقع الزلازل هو خطوة أولي فقط لفهم تلك الزلازل، ولكن لابد أن يحدد علماء الزلازل قوة الزلزال. ويتم هذا التحديد بطريقتين:

الأولي: وهى شدة الزلزال intensity وهى تقييم نوعي ووصفي لأنواع الدمار الناشئ عن زلزال ما.

<u>والطريقة الثانية:</u> هى قدر الزلزال magnitude وهى قياس كمي لمقدار الطاقة المنطقة من زلزال ما. وتمدنا كل من الطريقتين بنتائج هامة عن الزلازل وتأثيرها، حيث يمكن استخدام هذه المعلومات عن الزلزال في دراسة ومحاولة توقع زلازل مستقبلية.

<u>١ – شدة الزلزال:</u>

شدة الزلزال intensity هى قياس نوعي ووصفي للدمار الناتج عن زلزال ما ورد فعل الناس لها. وقد استخدم الجيولوجيون الشدة منذ منتصف القرن التاسع عشر كتقدير تقريبي لحجم وقوة زلزال ما. وأكثر مقاييس الشدة استخداما في الولايات المتحدة والعالم مقياس شدة ميركالي المعدل Modified Mercalli Intensity Scale. وهو مقياس مقسم إلي اثنى عشر قسماُ، تكتب بالأرقام الرومانية، ويبدأ برقم ١ والذي يعبر عن الزلازل التي لا يشعر الناس بها، وينتهي برقم XII والذي يعبر عن حدوث دمار شامل تقريبا. وهو مقياس معدل لمقياس العالم الإيطالي ميركالي G . Mercalli، والذي وضعه سنة ١٩٠٢م وتم تعديله عام ١٩٣١م في الولايات المتحدة الأمريكية.

وعموماً، وعلى الرغم من حقيقة أن الزلزال الكبير يسبب دماراً أكبر من الزلزال الصغير، إلا أن هناك عدداً من العيوب في استخدام ذلك المقياس. حيث يعتمد الدمار على البعد عن المركز السطحي للزلزال وعمق بؤرة الزلزال والكثافة السكانية وجيولوجية المنطقة المتأثرة بالزلزال ونوعية المواد المستخدمة في البناء وطريقة البناء ومدة الاهتزاز. وبالإضافة إلي ذلك، فإن تقدير حجم الدمار يكون موضوعيا، بمعنى أن بعض الناس قد يضخم حجم الدمار سواء عن قصد أو عن غير قصد، إلا أن الميزة الكبرى لاستخدام مقياس شدة الزلزال هو أنه لا توجد حاجة لاستخدام أجهزة خاصة.

<u>٢ – قدر الزلزال :</u>

عند مقارنة الزلازل كميا ببعضها، فإننا يجب أن نستخدم مقياساً مستقلا عن مقياس شدة الزلزال يقيس كمية الطاقة لمنطلقة عن الزلزال. وقد قدم تشالز ريختر Charles F .Richter عام ١٩٣٥م من معهد كاليفورنيا للتقنية هذا لامقياس، وهو قدر الزلزال magnitude، أي الكمية الكلية للطاقة المنطلقة من زلزال ما عند نقطة مصدره. ويعرف هذا المقياس بمقياس ريختر لقدر الزلازل Richter magnitude scale. ويبدأ هذا المقياس من قدر ١، بينما يكون مفتوح النهاية.

ويتحدد قدر الزلزال بقياس اتساع أكبر موجه زلزالية تم تسجيلها على السيزموجرام. ونظراً لأن الزلازل تختلف كثيراً في قوتها، فإن اتساع الموجات المتولدة يتفاوت آلاف المرات تبعاً لهذا الاختلاف. ولاستيعاب هذا التفوت الكبير، استخدم ريختر مقياساً لوغاريتميا (للأساس ١٠) للتعبير عن قدر الزلزال. فإذا تضاعف اتساع موجة الزلزال عشر مرات، فإن ذلك يقابله زيادة قدرها وحدة واحدة على مقياس ريختر. فمثلاً، اتساع أكبر موجة زلزالية لزلزال قدره ٦، تكون

عشرة أضعاف اتساع الموجه لناتجة عن زلزال قدره ٥، وتزيد مائة مرة عن زلزال قدره ٤، وألف مرة عن زلزال قدره ١٠ = ٣ (١٠× ١٠× ١٠ ١٠٠٠).

وبينما تمثل زيادة قدر الزلزال وحدة واحدة على مقياس ريختر زيادة قدرها عشر مرات في اتساع درجة الزلزال، فإن زيادة وحدة واحدة في القدر تقابل تقريباً زيادة قدرها ثلاثين ضعفاً من لطاقة المنطلقة. فزلزال ألاسكا عام ١٩٦٤م والذي بلغ قدره ٨,٦ أطلق حوالي تسمائة ضعف لطاقة المنطلقة من زلزال نورث ريدج Northridge earthquake عام ١٩٩٤م والذي بلغ قدره حوالي ٦,٧.

ومن المعلوم أن هناك أكثر من ٩٠٠,٠٠٠ زلزال تسجل حول العالم كل عام. ويمكن النظر إلي تلك الأعداد بطريقة أفضل، والذي يبين أن الغالبية العظمى من هذه الزلازل يبلغ قدرها عن ٨ تقع كل خمسة إلي عشرة أعوام فقط في المتوسط. ويوضح الجدول مقارنة بين مقياسي ميركالي وريختر.

- الدمار الناشئ عن الزلازل :

تأثير الزلازل في القشرة الأرضية:

يشمل الدمار الناشئ عن الزلازل جوانب عدة منها حدوث الهزات الأرضية والموجات الزلزالية البحرية والانزلاقات الأرضية، بالإضافة إلي اندلاع النيران واضطراب الخدمات المعيشية والذعر والصدمات النفسية. ويعتمد مقدار الدمار في الممتلكات وأعداد القتلى والجرحى على وقت حدوث الزلزال وجيولوجية المنطقة ونوع المباني المقامة وهيكلها البنائي والكثافة السكانية ومدة الهزة الأرضية. وعادة ما تكون الزلازل التي تحدث في وقت العمل وأثناء اليوم الدراسي في المناطق المزدحمة بالسكان أكثر دماراً.

الهزة الأرضية: تعتبر الأعداد الكبيرة للقتلى والجرحى بسبب الهزات الأرضية من أكثر المخاطر الناشئة عن الزلازل. وتتعرض المباني المقامة على صخور صلبة لدمار أقل من

المباني المقامة على مواد ضعيفة غير متماسكة مثل الرواسب المشبعة بالماء أو مواد الردم الصناعية، حيث تكون مدة الهزة الأرضية المؤثرة على المواد الضعيفة والمشبعة بالماء أطول واتساع الموجة S أكبر من تلك المؤثرة على المباني المقامة على صخور الأساس. وتميل مواد الرديم والرواسب المشبعة بالماء لأن تسيل، أي تسلك سلوك السائل، وهى العملية التي تعرف بالإسالة liquefaction. فعند حدوث هزة أرضية تفقد الحبيبات تماسكها وتنساب الأرض. ومن أمثلة الدمار الناتج عن الإسالة ما حدث في نيجاتا Niigata باليابان، حيث مالت المباني الكبيرة على جوانبها بعد انهيار التربة المشبعة بالماء المقامة عليها المباني على جوانب التلال . وقد سجلت ظاهرة الإسالة بمصر في عديد من القرى على الجانب الشرقي للنيل نتيجة الزلزال الذي تعرضت له مدينة القاهرة الكبرى بمصر يوم ١٢ أكتوبر ١٩٩٢م. وبالإضافة إلي قدر الزلزال

وجيولوجية المنطقة المقام عليها المباني، فإن المواد المستخدمة في إقامة المنشآت ونوعية البناء تؤثر أيضاً على حجم الدمار الحادث. فالمنشآت المقامة من الطين، تكون أضعف وتنهار كلها تقريباً عند تعرضها للزلزال.

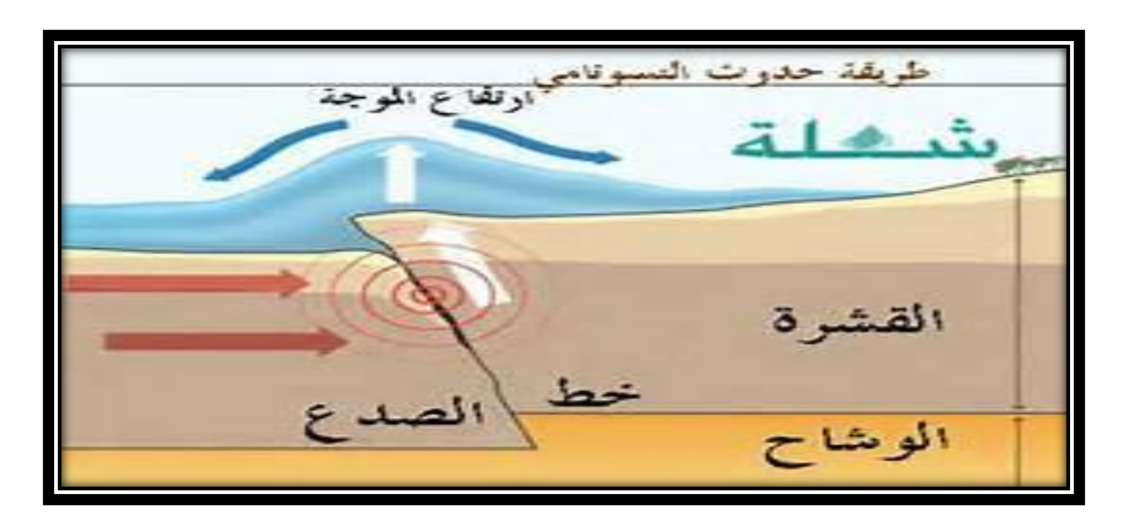


كسر في المباني بفعل زلازال

<u>اندلاع النيران:</u> يكون اندلاع النيران أحد المخاطر الرئيسية لناجمة عن الزلازل خاصة في مناطق الحضر. وقد تسببت النيران في حوالي ٩٠% من الدمار الذي حدث عام ١٩٠٦م أثناء زلزال سان فرانسيسكو. حيث تسببت الهزة الرضية في تحطيم خطوط الغاز والكهرباء والتي لامست النيران، وبذلك بدأت الحرائق في أنحاء المدينة، واستمرت لحوالي ثلاثة أيام دمرت خلالها معظم المدينة. وفي عام ١٩٨٩م، وخلال زلزال لوما بريتا Loma Prieta earthquake في سان فرانسيسكو، حدث اندلاع محدود للنيران حيث ساعدت الصمامات الموضوعة على خطوط الغاز والماء في عزل الخطوط المحطمة.



التسونامي (الموجات البحرية الزلزالية): تنشأ الموجات البحرية الزلزالية seismic sea waves أو تسونامي tsunami (مشتقة من الكلمة اليابانية tsu بمعنى مرفأ وnami بمعنى موجة) من الزلازل التي تحدث على قيعان المحيطات، قد تنشأ أيضاً وبدرجة أقل من الانزلاقات الرضية الكبيرة أو النشاطات البركانية تحت سطح البحر. ومن الشائع تسمية لتسونامي باسم موجات المد والجزر tidal waves على الرغم من عدم وجود أي علاقة لهذه الموجات بالمد والجزر. وتنشأ معظم التسونامي نتيجة حركة مفاجئة لقاع المحيط، مما يتسبب في حدوث موجات في الماء تنتقل للخارج مثل الموجات التي تتكون عندما يلقي بحجر في بركة ماء.



طريقة حدوث التسونامي



أمواج التسونامي العملاقة وهي تضرب السواحل الإندونيسية

وتنتقل التسونامي بسرعات تتراوح بين ٦٤٤كم و٧٢٥كم/ساعة، وتقل تدريجيا بمرور الوقت وزيادة مسافة السفر، ولكن تكون عموماً غير محسوسة في المحيطات المفتوحة، حيث يكون ارتفاع موجات التسونامي عادة أقل من متر، والمسافة الأفقية بين قمم الموجات تكون عدة

كيلومترات. وعندما تقترب التسونامي من الشواطئ تقل سرعة الموجات ويرتفع الماء إلي ارتفاعات تصل إلي ٣٠ متراً أو أكثر.



تأثير امواج تسونامي

وقد ضرب التسوماني جزيرة هاواي عام ١٩٦٤م، وبعد ٤,٥ساعة من حدوث زلزال بحري قوي بالقرب من جزيرة يونيماك Unimak في ألاسكا تحركت الأمواج بسرعة وصلت إلي ٨٠٠كم/ساعة، وعلى الرغم من أن اتساع الموجة في المحيط المفتوح كان أقل من متر واحد، إلا أن هذا الاتساع اد بالقرب من الشاطئ. وعندما ضربت الموجة شواطئ هاواي كان قد وصل ارتفاعها إلي ١٨ مترا. وقد تسبب هذا التسونامي في قتل ١٥٤ شخصاً ودمر من الممتلكات ما يقدر بحوالي ٢٥ مليون دولار. وقد أدى ذلك إلي إنشاء نظام للإنذار المبكر عن التسونامي في هونولولو بهاواي في محاولة لتقليل الدمار الناتج عن التسونامي. ويشمل هذا النظام المبكر أجهزة سيزموجراف بالإضافة إلي أجهزة أخرى لكشف الموجات الناتجة عن الزلازل، حتى يمكن الإبلاغ عن نشأة تسونامي وإعطاء التحذيرات في لوقت المناسب.

وقد حدثت أكبر الموجات البحرية الزلزالية (التسونامي) دمارا في القرن العشرين، في يوليو عام ١٩٩٨م في بابوا بغينيا الاستوائية، حيث حدث زلزال بقوة ٧,١ على مقياس ريختر على بعد حوالي ٢٠كم من الشاطئ. ثم نشأت ثلاث موجات من المد بعد عشرين دقيقة من الزلزال، ووصلت أعلى موجة إلي ارتفاع ١٥ مترا ودمرت ثلاث قرى ساحلية تماما، وقتلت أكثر من ٢٢٠٠ شخص. وقد حدث هذا العدد من القتلى بسبب عدم تحذير الأهالي، بالإضافة إلي طبيعة الأرض المنخفضة في تلك القرى.

أما التسونامي الذي كان أقواها جميعا فهو ذلك التسونامي الذي حدث في ٢٦ ديسمبر عام ٢٠٠٤م بالقرب من جزيرة سومطرة الأندونيسية، والذي نشأ عن زلزال في قاع المحيط الهادي شمال أندونيسيا بقوة تزيد على ٩,٢ على مقياس ريختر، وامتد تأثيره على سواحل المحيط الهندي من أندونيسيا وتايلاند شرقا حتى الصومال غربا، ومرورا بكل شواطئ جنوب آسيا مثل

لهند وسيلان . وقد تسبب هذا التسونامي في موت مايزيد على ٣٠٠,٠٠٠٠ نسمة، كما ألحق دمارا شاملا في جزيرة آتشيه الأندونيسية وكثير من المناطق المطلة على المحيط الهندي.

الانهيارات الرضية: إن الانهيارات الأرضية التي تحدث نتيجة الزلازل تكون خطيرة، خاصة في المناطق الجبلية، كما تكون مسئولة أيضا عن الدمار الهائل والعدد الكبير من الوفيات. وقد أدى زلزال عام ١٩٢٠م في جانسو Gansu بالصين إلي قتل ما يقرب من ١٠٠,٠٠٠ نسمة بسبب انهيار الجروف المكونة من اللويس (غرين ترسب بالرياح). كما تسبب زلزال بيرو عام ١٩٧٠م في حدوث انهيارات أرضية دمرت مدينة ينجي Yungay town.



انهيار ثلجي

– تحديد نوع التصدع من نتائج الزلزال :

يقوم علماء الزلازل عند حدوث زلزال ما بتحليل السيزموجرام (شريط تسجيل الزلزال) في عدة محطات رصد ليحددوا المركز السطحي للزلزال وقدره، ثم يقوموا بفحص التصدع الذي حدث عند هذا المركز. والهدف من هذا الفحص معرفة علاقة سطح الصدع واتجاه الانزلاق بالإجهاد أو الضغوط في القشرة الأرضية، وهل كان الزلزال نتيجة صدع عادي أم دسر أم انزلاق مضربي.

وإذا لم يسجل أي أثر للتصدع في موقع الزلزال، فإن ذلك يرجع إلي أن بؤرة الزلزال كانت بعيدة عن سطح الرض. ومع ذلك، فإنه يمكن لعلماء الزلزال تحديد نوعية التصدع الذي حدث تحت السطح من المعلومات المسجلة في السيزموجرام، حيث إن عددا قليلا جداً من سطوح الصدوع تصل حتى سطح الأرض.

وقد تم حديثا إنشاء عديد من أجهزة السيزموجراف حول العالم، بحيث تسجيل محطات الرصد أي بؤرة زلزال محتملة. فقد لاحظ علماء الزلازل أنه إذا كانت الحركة الزلزالية الأولى للأرض والمسجلة بسيزموجراف في اتجاه معين (موجه P) هى حركة دفع (push away) بعيداً عن بؤرة الزلزال وتتجه إلي السيزموجراف، فهذا يعني وصول قوة ضغط، وأن الصخور قد تحركت ناحية السيزموجراف، ويكون اتجاه حركة الموجة لأعلى على السيزموجرام . أما بالنسبة لأجهزة السيزموجراف الموجودة في الاتجاهات الأخرى فإن الحركة تكون حركة جذب pull toward في اتجاه بؤرة الزلزال، مما يعني وصول قوة شد، ويكون اتجاه حركة الموجة لسفل على السيزموجرام.

<u>- توزيع الزلازل حول العالم :</u>

على الرغم من أنه يوجد أي جزء على سطح الأرض بعيدا عن حدوث زلازل، إلا أن معظم الزلازل (تقريبا ٩٥%) تقع في أحزمة زلزالية تقابل حدود اللواح، حيث تنشأ الإجهادات (الضغوط) نتيجة تقارب الألواح أو تباعدها أو انزلاقها بموازاة بعضها البعض. وتعرف الحزمة الزلزالية seismic belts بأنها نطاقات زلزالية ضيقة ومستطيلة عادة، وتتميز بتكرار تعرضها للهزات الأرضية الزلزالية. أما النشاط الزلزالي البعيد عن حدود الألواح فإنه يكون قليلا جدا، ولكن قد يكون مدمرا عند حدوثه. والعلاقة واضحة بين حدود اللواح وتوزيع الزلازل، حيث يلاحظ أن مواقع الزلزال تنطبق على حدود الألواح التكتونية .

وتقع معظم الزلازل (٨٠% تقريبا) في الحزام الممتد على طول قاع المحيط الهادئ. ويعرف بالحزام حول الهادئ circum – pacific belt وهو نطاق من النشاط الزلزالي يحيط بحوض المحيط الهادئ. ويمتد هذا الحزام بطول السلاسل الجبلية في غرب أمريكا من كيب هورن إلي ألاسكا، ثم يعبر آسيا ليمتد جنوبا على امتداد شواطئ اليابان والفلبين وغينيا الجديدة وفيجي، ثم يكمل الدائرة حيث يتجه جنوبا إلي نيوزيلندة. وقد حدث في هذا النطاق أكثر الزلزال تدميرا في تاريخ الأرض، والتي أدت لحدوث خسائر تقدر ببلايين الدولارات، وقتل أكثر من نصف مليون من البشر.

والحزام الزلزالي الكبير الثاني هو حزام البحر المتوسط – الهيمالايا Mediterranean – Himalayan belt ، حيث يقع حوله حوالي ١٥% من الزلزال. ويمتد هذا الحزام غربا من إندونيسيا إلي الهيمالايا ثم إيران فتركيا ثم منطقة البحر الأبيض المتوسط حتى جبل طارق. ويعتبر زلزال عام ١٩٩٣م في الهند والذي قتل حوالي ثلاثين ألف نسمة، وزلزال عام ١٩٩٥م المدمر في إيران والذي قتل حوالي أربعين ألف نسمة، وزلزال عام ٢٠٠٣م في مدينة بام في جنوب شرق إيران والذي تسبب في قتل حوالي واحدا وأربعين ألف نسمة، أمثلة للزلازل المدمرة

في هذا النطاق. وتقع الخمسة في المائة الباقية من الزلازل في داخل اللواح وعلى امتداد حيود وسط المحيط. ومعظم هذه الزلازل لا تكون قوية، على الرغم من أن بعض الزلازل الكبيرة داخل اللواح تكون جديرة بالاهتمام.

والأحزمة الزلزالية هى أماكن لانطلاق كمية كبيرة من الطاقة الداخلية للأرض. ولذلك فإنه من المتوقع أن توجد مظاهر أخرى لانطلاق تلك الطاقة الداخلية تظهر في تلك الأحزمة. ومن هذه المظاهر حيود وسط المحيط mid – ocean ridges والخنادق المحيطية العميقة والبراكين الأنديزيتية، وغيرها من المظاهر الأخرى. وتحدد الأحزمة الزلزالية حدود الألواح أو تمتد موازية لها تقريبا.

كما يعكس عمق البؤر الزلزالية حول حدود اللواح معلومات إضافية أخرى. وتقع معظم البؤر الزلزالية على أعماق أقل من ١٠٠كم، حيث تشق الزلازل طريقها في الصخور القصفة وحول حدود الألواح، وحيث يبلغ سمك الغلاف الصخري القصف ١٠٠كم فقط. ومع ذلك فإنه قد ينشأ القليل من الزلازل عند أعماق كبيرة تصل إلي حوالي ٧٠٠كم. وجدير بالملاحظة أن تلك الزلازل العميقة لا تصاحب الحدود المحيطية أو الصدوع الناقلة ولكنها مرتبطة بالخنادق المحيطية. وتحدد تلك الخنادق الأماكن التي يغوص فيها الغلاف الصخري البارد القصف في الوشاح.

وقد أوضحت الدراسات التفصيلية للبؤر الزلزالية تحت الخنادق المحيطية، أن هذه البؤر تتبع مسارا محددا يسمى بنطاق بيني أوف Benioff zone على اسم العالم الذي تعرف على هذه الظاهرة لول مرة . وتوضح هذه الملاحظة الهامة أن الزلازل العميقة ربما تنشأ في اللوح البارد نسبيا والمتحرك لأسفل عند نطاقات الاندساس subduction zone. ونظراً لأن بعض البؤر الزلزالية قد توجد عند أعماق تصل إلي ٧٠٠كم، فلابد من استنتاج أن الغلاف الصخري الهابط بسرعة، يمكن أن يحتفظ على الأقل بقابلية التقصف عند هذا العمق. ومع ذلك، فإنه من غير المعروف لماذا لم يتم تسجيل أي زلزال عند أعماق أكبر من ٧٠٠كم. بينما يرجع البعض ذلك إلي ان الغلاف الصخري الهابط بسرعة وعند وصوله لعمق ٧٠٠كم يصبح ساخنا بدرجة تكفي لأن تجعل الصخور لدنة أكثر منها قصفة. وتوضح مواقع الزلازل أشكال وتراكيب الألواح التكتونية. ولكي نتعرف طريقة تحرك الألواح واستجابتها للقوى المؤثرة عليها، فإن ذلك يستلزم إجراء مزيد من الدراسات الزلزالية التفصيلية، خاصة دراسة الحركة الزلزالية الأولى.

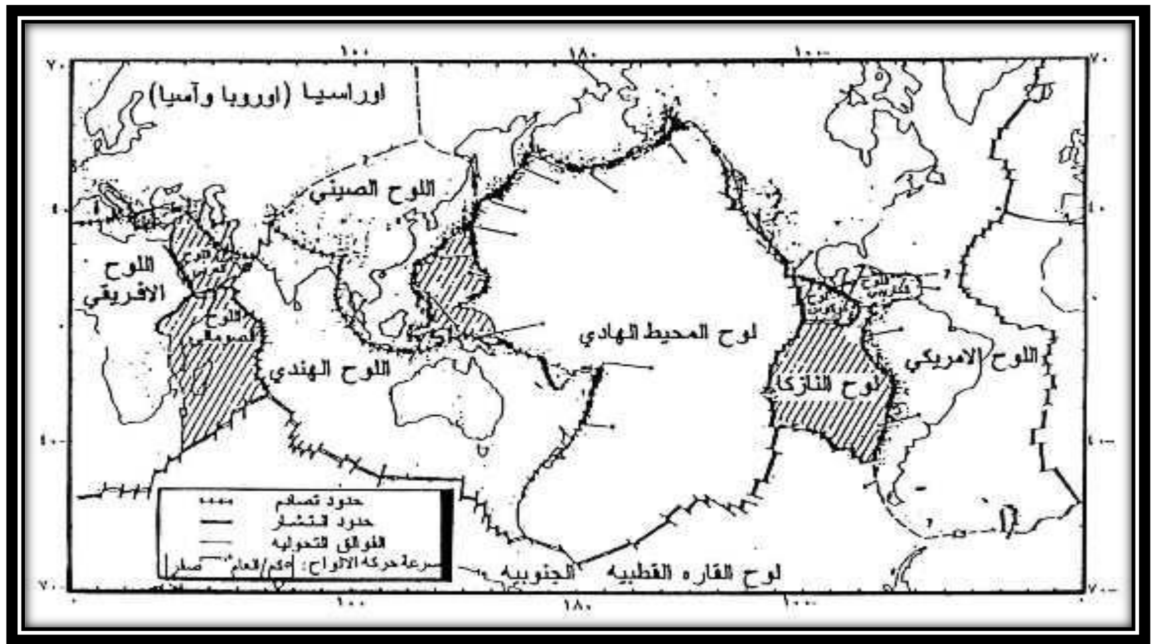
- الزلازل وتكتونية الألواح :

تقدم نتائج تحديد مواقع الزلازل والحركات الأولى للزلزال أهم الأدلة على صحة نظرية تكتونية الألواح. فإنه يمكن تمييز ثلاثة أنواع من حدود الألواح: **(١) حدود متباعدة** divergent boundaries أو مراكز انتشار spreading centers والتي تتطابق مع وديان الخسف فوق القارات وحيود وسط المحيط، **(٢) حدود الصدع الناقل** transform fault boundaries، **(3) حدود متقاربة** convergent boundaries والتي تتطابق مع الخنادق المحيطية أو نطاقات

التصادم القاري. وينشأ عند كل حد من هذه الحدود زلازل مميزة طبقاً لحركات الصدع وأعماق البؤر الزلزالية.

وتعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيرا على الإنسان لحدوثها المفاجئ والسريع ولما ينجم عنها من خسائر بشرية ومادية. ويمكن تقسيم الآثار الزلزالية إلى نوعين هما الآثار الأولية وتتمثل في حدوث الحركة الأرضية العنيفة وما يصاحبها من تصدعات وسقوط المباني وغيرها والآثار الثانوية وتتمثل في الحرائق والانهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء. ويختلف حجم الخسائر التي تسببها الزلازل من بلد لآخر ويقل بصفة عامة في الدول المتقدمة التي أخذت بصورة جدية بالوسائل التي تؤدي إلى تخفيف الخطر الزلزالي.

لقد اتجه المؤرخون منذ القدم إلى الاهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواري حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الاهتمام حديثا حتى أصبح علما قائما بذاته يسمى علم الزلازل (Seismology Earthquake) خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنويًّا إلى حوالي ٣٥٠ ألف زلزال لا يشعر بمعظمها الناس إما لضعفها أو لحدوثها في مناطق غير مأهولة بالسكان.



الصفائح الصخرية المكونة للقشرة الأرضية.

أشار العالم ريد (Reid) عام ١٩٠٦م إلى أن نظرية الارتداد المرن (Rebound Elastic) تعطي تفسيرا معقولاً لأسباب حدوث الزلازل، وتفترض هذه النظرية أن صخور القشرة الأرضية تتعرض إلى ضغوط وتشوهات على مدار السنين مما يجعل مسارها الطبيعي يتغير وينتج عن ذلك قوى هائلة تتزايد مع الزمن، فإذا زادت هذه القوى عن قدرة تحمل الصخور حدث بها كسر أو شرخ أو بمعنى آخر إذا زادت القوى الناتجة عن قوى الاحتكاك بين الصخور تحدث الإزاحة على جانبي الفالق مسببة انطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة أو موجات

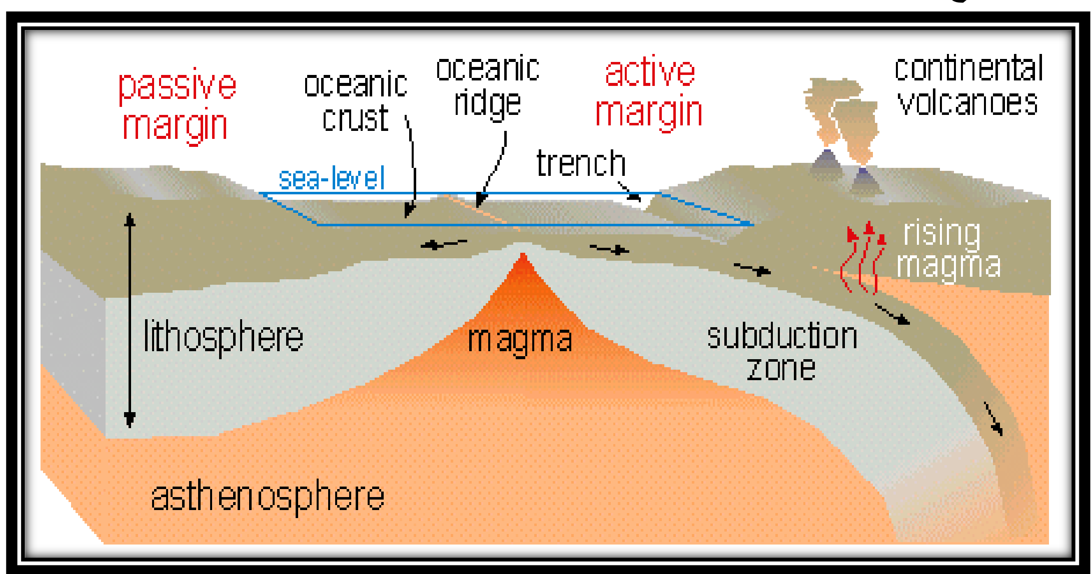
ارتدادية، وهذه الموجات الارتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل. وباختصار يمكننا القول أن الزلازل عبارة عن اهتزاز في القشرة الأرضية نتيجة للتحرر السريع للطاقة المجتمعة في الصخور.

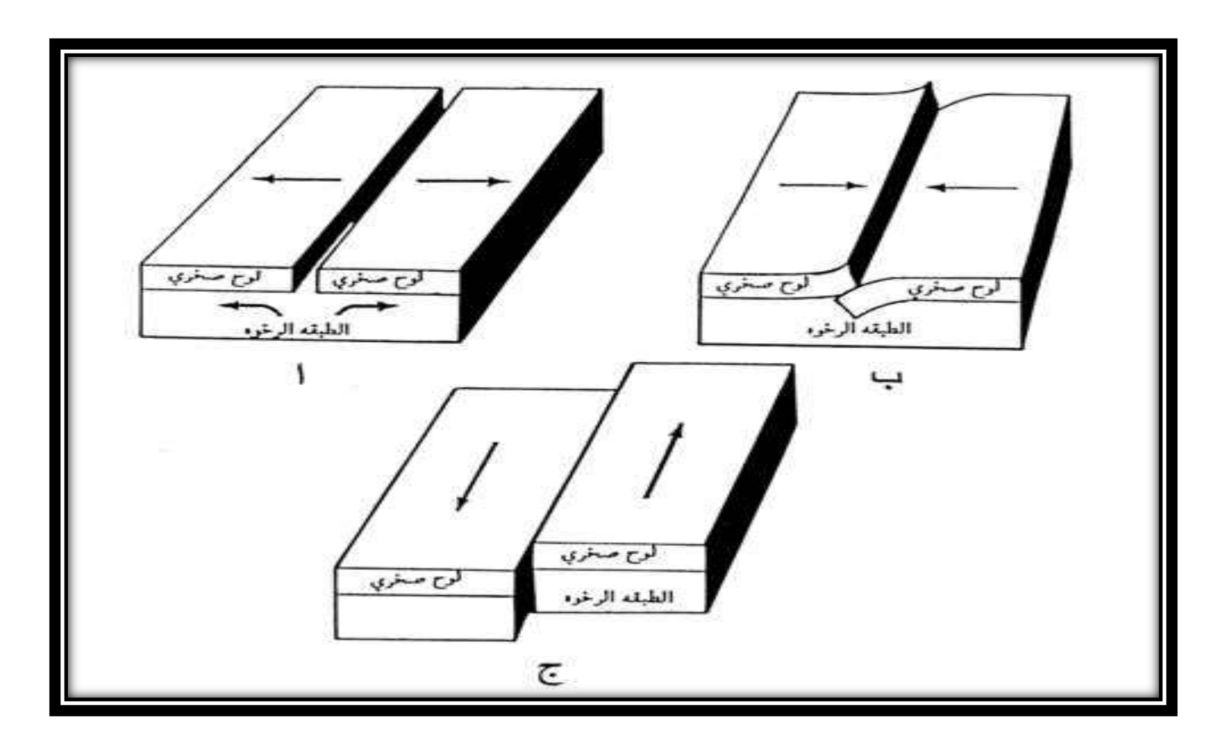
وفي عام ١٩٦٢م ظهرت نظرية الألواح التكتونية (Tectonics Plate) للعالم ألفريد وجنر A. Wegener) التي تفترض أن الغلاف الصخري الصلب للأرض (Lithosphere) يتألف من عدة صفائح (Plates) صخرية يتراوح سمكها بين ٧٠ كم و ١٠٠كم، وتتكون الصفائح من القشرة الأرضية وجزء صغير من الطبقة السائلة من الوشاح، وتتحرك الصفائح التكتونية بالنسبة إلى بعضها البعض فوق المنطقة المنصهرة جزئيا من الوشاح العلوي والمعروفة بالـ Asthenosphere) وتحدث الحركات التكتونية على طول الحدود الفاصلة بين الصفائح البنائية عند تحركها متقاربة أو متباعدة عن بعضها أو تنزلق إحداها بموازاة الأخرى مسببة اضطرابات

في داخل الأرض تنعكس على القشرة الأرضية في صورة كسور واندفاعات بركانية وزلازل وحركات صعود وهبوط؛ قال تعالى: (وَالأَرْضِ ذَاتِ الصَّدْعِ(الطارق (١٢).

لم يتفق العلماء حتى يومنا هذا على قوة معينة لتحريك الصفائح ولكن أهم الآليات المقترحة لتحريك الصفائح:

أ - آليـة السحب الناتج عن تيـارات الحمل الموجودة في الغلاف الواهن (Asthenosphere)
ب - آلية الجذب بسبب وجود طبقة الغلاف الصخري Lithosphere الباردة والعالية الكثافة فوق الوشاح الساخن واللدن والغلاف الواهن يؤدي إلى جذب الصفيحة نحو مناطق الاندساس.
جـ - آلية الانزلاق. بسبب تأثير قوى الجاذبية.
د - آلية صعود الصهير.
هـ - آلية البقع الساخنة.





أنواع الحدود والحركة النسبية بين الصفائح الصخرية المتجاورة

ومن الملاحظ هنا ارتباط الزلازل بخروج الحمم والصهارة من باطن الأرض وتكون البراكين وهو الارتباط الذي نبأنا الله بحدوثه أيضا في سورة الزلزلة في قوله: (**إِذَا زُلْزِلَتِ الأَرْضُ زِلْزَالَهَا * وَأَخْرَجَتِ الأَرْضُ أَثْقَالَهَا** (الزلزلة١- ٢)

وبناءً على نظرية الألواح التكتونية يمكن تقسيم حدود الصفائح طبقًا لحركة الصدوع واتجاهاتها، إلى ثلاثة أقسام رئيسية كما يلي :

الأحزمة الزلزالية عند حدود اللواح :

١- مناطق تباعد الصفائح: Divergence Zones:

تنشأ مناطق تباعد الصفائح عن عملية شد ناتج بسبب تحرك صفيحتين في اتجاه معاكس عن بعضهما البعض مثل ابتعاد الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية وما نتج عن ذلك من نشأة أخدود البحر الأحمر وكذلك سلاسل جبال وسط المحيط الأطلسي، وتتميز هذه المناطق بوجود

الصدوع العادية أو الرأسية (Fault Normal)، كما أن الزلازل التي تحدث بها ضحلة ولا يزيد عمقها عن ٣٠ كم .

٢- مناطق التقاء الصفائح: Convergence Zones:

تنشأ مناطق التقاء الصفائح عند تحريك صفيحتين باتجاه بعضهما البعض لتلتقيا معًا وتتصادما، ويحدث التصادم إما بين صفيحتين قاريتين أو بين صفيحتين إحداهما قارية والأخرى محيطية، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العكسية (Faults Reverse) ويمكن توضيح نوعي الاصطدام كما يلي:

قاري - قاري:

حيث تختلف كثافة الصخور نسبيا بين الصفيحتين، ويؤدي اصطدامهما معًا إلى تكوين منطقة من السلاسل الجبلية الضخمة والمرتفعة مثل جبال الهيمالايا في الهند وزاكروس في إيران، وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق متوسطة تتراوح بين ٦٠كم و ٣٠٠كم.

حيث تختلف كثافة الصخور بين الصفيحتين، حيث تضغط إحداهما على الأخرى وتنحني الصفيحة المحيطية الأكثر كثافة أسفل الصفيحة القارية الأقل كثافة ويقطع طرف الصفيحة القارية أجزاء كبيرة من الصفيحة المحيطية عند نزولها إلى طبقة الوشاح مكونة سلاسل جبلية مرتفعة مثل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية والجزر الألوسية الممتدة حول منطقة ألاسكا. وتتميز زلازل هذه المنطقة بأنها من النوع العميق حيث يتراوح عمقها بين ٣٠٠ كم و ٦٥٠ كم .

٣- مناطق انزلاق أو زحف الصفائح: Transform Zones:

تنشأ مناطق انزلاق أو زحف الصفائح على شكل صدوع مستعرضة (Faults Transform) تؤدي إلى انزلاق أو زحف صفيحتين إحداهما بموازاة الأخرى، وتتحرك الصفيحتان متماستين على جانبي الصدع محدثة تكسيرًا أو تشوهًا في الصخور قد ينتج عنه اندفاعات بركانية وزلازل. وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق ضحلة قد تصل إلى ٢٠ كم تقريبًا، ومن أمثلة هذه المناطق خليج العقبة، وصدع سانت أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية .

٤– الزلازل الضحلة البؤرة داخل الألواح :

على الرغم من أن معظم الزلازل توجد عند حدود الألواح، إلا أن الخريطة الزلزالية للعالم توضح وجود نسبة بسيطة من الزلازل داخل الألواح. وتتميز البؤر الزلزالية لتلك الزلازل بأنها ضحلة نسبيا، وأن معظمها يوجد فوق القارات. ومن بين تلك الزلازل، بعض الزلازل الأكثر تدميرا في التاريخ الأمريكي، مثل نيومدريد – ميزوري عام ١٨١٢م وشارليستون في جنوب كارولينا عام ١٨٨٦م وبوستون في ماساسوشتس عام ١٧٥٥م. ويبدو أن هناك قوى كبيرة داخل القشرة الأرضية لا تزال تعمل وتسبب التصدع داخل ألواح الغلاف الصخري، بعيدا عن الحدود الحديثة للألواح.



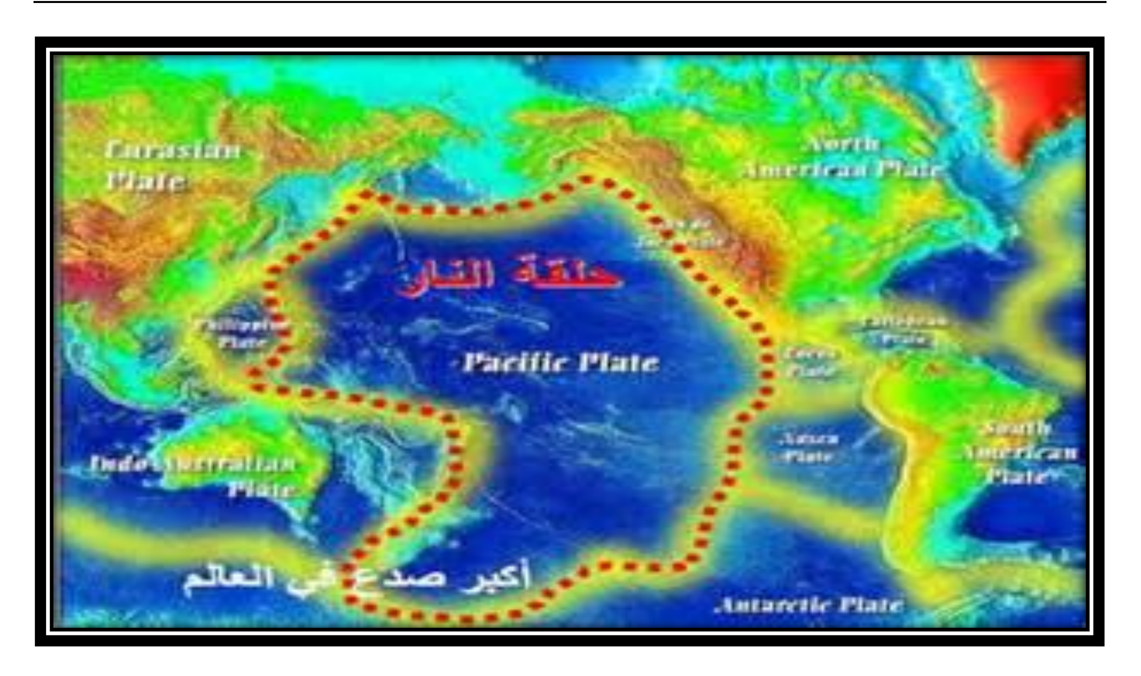
ويوجد في العالم ست صفائح رئيسية وأخرى صغيرة ثانوية تشكل في مجملها قشرة الأرض التي نعيش عليها.
قال تعالى: (وَفِى الأَرْضِ قِطَعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ الرعد ٤).

والصفائح الصلبة الكبيرة تشمل: صفيحة أوراسيا القارية، وصفيحة المحيط الهادي المحيطية، والصفائح القارية المحيطية المشتملة على صفيحة أفريقيا، وصفيحة أمريكا، وصفيحة المتجمد الجنوبي، والصفيحة الهندية ـ الاسترالية.

أما الصفائح الصلبة الصغيرة فمنها: الصفيحة العربية وصفيحة نازكا ـ صفيحة بحر الفلبين وصفيحة الكاريبي وصفيحة جنوب شرق آسيا.



بمقارنة خريطتي توزيع الزلازل وحدود الصفائح التكتونية في العالم، نجد ارتباطًا وثيقًا بين حدود الصفائح ومناطق النشاط الزلزالي، وعلى هذا الأساس أمكن تحديد ما يسمى بالأحزمة الزلزالية وأهمها حزام حلقة النار (حول المحيط الهادي) Belt Pacific-The Circum.

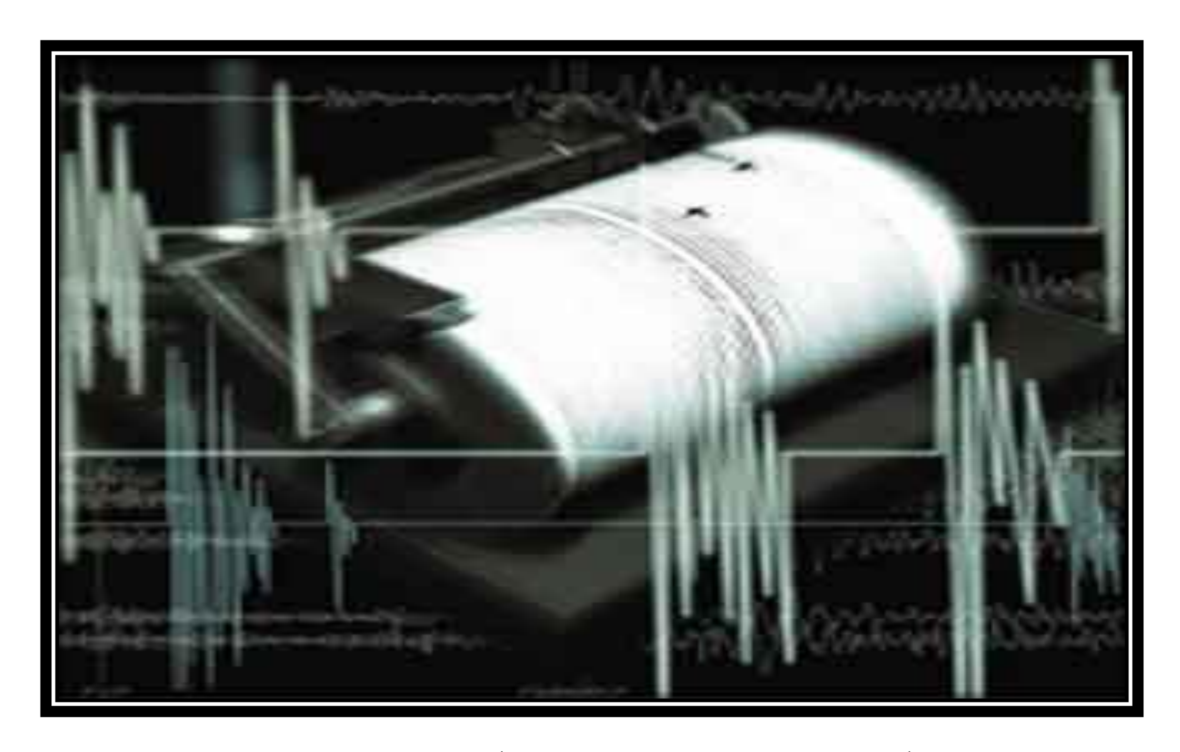


ويتشكل فيه حوالي ٦٩% من زلازل العالم، ويذكر أن ٨٠ % من طاقة الزلازل تتواجد في هذا الحزام، ويشمل هذا الحزام الشواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واليابان والفلبين حتى يصل إلى أستراليا ونيوزيلندا، وتمثل أعتى أنواع الزلازل، وعلى سبيل المثال الزلازل التي حدثت في بيرو ١٩٧٠ وتشيلي ١٩٨٥ واليابان ١٩٢٣ وألاسكا ١٩٦٤، وأخيرًا زلزال اليابان ١٩٩٥م.



وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقًا مارًّا بجبال الهملايا ثم ينحرف إلى الشمال الغربي مارًّا بجبال زاجروس ثم القوقاز إلى تركيا وشمال إيطاليا، ويعرف هذا الحزام بحزام جبال الألب Alpide Belt ويتشكل فيه حوالي ٢١% من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام ١٠% من الطاقة.

وبالإضـــافة إلى هذين الحــزامين هناك أحزمة زلزاليــة أقل خطـــورة تمتد في خطــوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتتجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر.



وقد تتواجد الزلازل أحيانًا في مناطق ليس لها علاقة بالأحزمة الزلزالية، حيث تتمركز في داخل الصفيحة ويطلق على هذا النوع من الزلازل الـ Intraplate Earthquakes، وهذا النوع قد يكون مدمرًا بسبب عدم توقعه كما حدث في زلزال القاهرة في أكتوبر ١٩٩٢م.

<u>– توقع الزلازل :</u>

تعتبر الزلازل أهم أسباب الكوارث الطبيعية المروعة. ولذلك، فإنه من الطبيعي أن تدور نسبة كبيرة من الأبحاث حول الزلازل، حيث يحدو العلماء الأمل في التوصل إلي طريقة لتحسين قدرتنا على توقع الزلازل من خلال تلك الأبحاث. ويعتمد توقع الزلازل على:

(١) أساس إحصائي، مثل الفجوة الزلزالية وزمن التكرار.

(٢) أساس فيزيائي مثل لتغيرات في القشرة الأرضية وخصائصها الفيزيائية.

(٣) أساس بيوفيزيائي مثل سلوك الحيوانات.

ونعرض فيما يلي وصفا لكل من هذه الطرق الثلاث:

أ- توقع الزلازل على أساس إحصائي :

إذا طلب من أحد علماء الزلازل أن يتوقع موعد حدوث زلزال كبير فإن إجابته ستكون "كلما طال الزمن منذ آخر زلزال كبير كلما اقترب موعد الزلزال الكبير التالي". وتمثل هذه المقولة

الأساس الذي تقوم عليه طريقة الفجوة الزلزالية seismic gap method. والفكرة الرئيسيةلهذه الطريقة، أن الزلازل تنتج نتيجة تراكم الإجهادات الناشئة عن الحركة المطردة للألواح على امتداد الصدوع، وعند الوصول إلي مستوى حرج من الإجهاد، فإن الغلاف الصخري يتكسر. وتتكرر هذه الدورة التي تنشأ من التراكم البطئ للأجهاد والانطلاق المفاجئ للطاقة في هيئة زلزال مرات ومرات. ويختلف متوسط الفترة الزمنية الفاصلة بين زلزالين قويين من مكان لآخر. وطبقاً لطريقة الفجوة الزلزالية، فإن المناطق ذات الاحتمالات العالية لحدوث زلازل قوية في نطاق صدع نشط، هى المسافة أو الجزء المغلق من صدع لم يحدث به زلزال رئيسي لفترة زمنية تساوي أو تزيد عن متوسط الفترة الزمنية بين زلزالين قويين في هذا الموقع، بينما قد تحدث مثل هذه الزلازل في بقية النطاق.

ويقدم الجزء من صدع سان أندرياس الذي يقطع جنوب كاليفورنيا مثالاً واضحاً على تطبيق هذه الطريقة. ويقدر زمن التكرار recurrence time بين زلزالين قويين في هذه المنطقة والمقدر بعدة طرق، من ١٠٠ إلي ١٥٠سنة. ونظرا لأن آخر زلزال قوي قد حدث في تلك المنطقة في عام ١٨٥٧م، فإنه من المتوقع حدوث زلزال قوي جديد فيها في أي وقت من الآن حتى عدة عقود تالية.

ب – توقع الزلازل على أساس فيزيائي:

وينشغل علماء الولايات المتحدة واليابان والصين وروسيا والعديد من الدول الأخرى حاليا في بحث مكثف عن المؤشرات التي يمكن أن تستخدم في توقع وقت ومكان الزلازل المدمرة على أساس التغيرات الفيزيائية في القشرة الأرضية. وقد توصلوا إلي بعض المؤشرات التي يمكن أن تستخدم في هذا الإطار وهى:

- الميل السريع للأرض، أو تشوه سطح الأرض بأي شكل من الأشكال.
- انزلاق لازلزالي aseismic غير عادي، يحدث ببطء على امتداد صدع بدلاً من الانزلاق المفاجئ الذي يصاحبه زلزال في المنطقة قبل الهزة الرئيسية.
- استطالة القشرة الرضية في فترة معينة، وقد يسبب هذا الانفعال الناشئ عن الشد في جذب الكتلتين على جانبي الصدع، مما يقلل من الاحتكاك من الكتلتين على جانبي الصدع، ويسبب بالتالي عدم قفل الصدع unlocking.

• التغير في مستوى سطح الماء في الآبار. وقد تسبق تلك التغيرات الزلزال بسبب زيادة أو نقص مسامية الصخور كنتيجة للتغيرات الأولية في الإجهاد.
• التغير في الخواص الفيزيائية للصخور بالقرب من صدع ما، مثل قابليته لتوصيل تيار كهربي.
• الزيادة غير العادية في تكرار حدوث زلازل صغيرة قبل هزة رئيسية.

وفي الحقيقة، فقد تم تتبع كل تلك الظواهر، حيث إن ظاهرتين أو أكثر منها قد تجتمعان، إلا أنه ليس بالطريقة التي يمكن اعتبارها طريقة ثابتة ويعول عليها في التوقع.

ج – توقع الزلازل على أساس بيوفيزيائي :

نظراً لمعاناة الصين من عديد من الزلازل الرهيبة، فقد حاول العلماء الصينيون التوصل إلي طريقة توقع الزلازل وذلك من خلال ملاحظة سلوك الحيوانات عند حدوث الزلازل. ففي يوم ١٨ يوليو ١٩٦٩م لاحظ حراس حديقة حيوانات تيانجين Tianjin أن حيوانات الباندا (حيونات تشبة الدب) الهادئة أخذت في الصراخ، كما رفض البجع الاقتراب من الماء، ولم تختبئ الثعابين في جحورها تحت الأرض. كما تضمن تقرير حراس الحيونات أيضا المزيد من الملاحظات التي يمكن أن تستخدم في توقع الزلازل. وقد حدث زلزال قدره ٧,٤ على مقياس ريختر في اليوم نفسه.

برامج الحماية الزلزالية: تعطي خريطة المخاطر الزلزالية seismic – risk map الأساس لتنظم البرامج المحلية للحماية من الزلازل طبقاً لدرجة الخطر. ففي مناطق المخاطر العالية، فإن مدونة (كود) المباني تتطلب تصميمات هندسية تتحمل الآثار التدميرية للزلازل. ويجب عند البناء في مناطق خطيرة مراعاة تثبيت الأساس جيداً، وتثبيت خطوط الغاز بالأرض جيداً، كما يجب أن تكون الخطوط مرنة لتجنب حدوث أي تسرب للغاز، والذي يكون مصدراً للحرائق في هذه لحالة. كما يجب تثبيت الأرفف بالحوائط، ووضع الشياء الثقيلة في الأجزاء السفلي منها، وكذلك تجنب وضع أسرة النوم بالقرب من النوافذ.

– استكشاف باطن الأرض باستخدام الموجات الزلزالية :

يعرف الجيولوجيون أن الأنواع المختلفة من الموجات الزلزالية تتميز بصفات عامة مشتركة هى:

١ – تعتمد السرعة التي تنتقل بها الموجات على كثافة ومرونة elasticity المادة التي تمر خلالها. فتنتقل الموجات الزلزالية بسرعة أكبر في المواد الصلبة التي تعود فيه المادة إلي شكلها الأصلي بمرونة عند زوال الإجهاد المؤثر. فقد تنتقل الموجات الزلزالية بسرعة أكبر خلال الصخور المتبلورة مثل الجرانيت عنها خلال طبقة من مادة غير متماسكة مثل الرمل.

٢ – تزيد سرعة الموجات الزلزالية عموما في الطبقة نفسها كلما زاد العمق، حيث تسبب زيادة الضغط كبس الصخر ليصبح أكثر تماسكاً ومرونة.

٣– الموجات الأولية (موجات P) هى موجات تضاغطية تتأرجح إلي الأمام والخلف في الاتجاه نفسه الذي تنتقل فيه، بينما الموجات الثانوية (موجات S) هى موجات قص shear waves، أي موجات مستعرضة تسبب اهتزاز المواد التي تمر خلالها في اتجاه عمودي على اتجاه انتشارها. وتنتقل الموجات الأولية بسرعة أكبر من الموجات الثانوية عبر الأرض.

٤ – عندما تنتقل الموجات الزلزالية من مادة إلي أخرى، فإن بعض الموجات ترتد عند الحد الفاصل بين المادتين، بمعنى أنها تنعكس، بينما ينفذ بعضها إلي المادة الأخرى، مثلما ينعكس الضوء جزئياً عند زجاج النافذة، بينما يمر بعضه الآخر، وتنحني الموجات التي تنفذ خلال الحد الفاصل بين الوسطين أي تنكسر، حيث إن سرعة الموجات في المادة الثانية تختلف عن سرعتها في المادة الأولى.

أ – انتقال الموجات الزلزالية فى الأرض :

إذا افترضنا جدلا أن الأرض تتكون من مادة واحدة متجانسة ذات خصائص ثابتة من سطح الأرض وحتى مركز الأرض، فإن الموجات الأولية والثانوية سوف تنتقل في خط مستقيم من بؤرة الزلزال وعبر الأرض حتى جهاز السيزموجراف البعيد. ولكن، لاتتبع الموجات المسار

المستقيم عند انتقالها عبر الأرض. مما دعا الجيولوجيين إلي أن يستنتجوا أن الأرض تتكون من طبقات، تتكون من مواد مختلفة تنتقل عبرها الموجات بسرعات مختلفة. وتنحني الموجات عندما تنتقل من طبقة لأخرى، ولذلك يكون مسار الموجات في باطن الأرض منحنيا.

وتقدم نتائج دراسة الموجات الزلزالية أحد أهم الأدلة على وجود لب الأرض. فالموجات الزلزالية لا تصل إلي مناطق معينة من الأرض على الجانب المقابل لزلزال كبير. وعند تتبع مسار الموجة التي تكاد تلمس لب الأرض، فإنها تصل إلي سطح الأرض عند زاوية مقدارها ١٠٣، ثم إذا تتبعنا الموجات التي تحترق لب الأرض، فإننا نلاحظ أنها تنحني لأسفل عند دخولها اللب ثم تنحني ثانية عند مغادرة لب الأرض. وبسبب هذا الانحناء عند الحد الفاصل بين لب الأرض والوشاح، فإنه لا يبزغ أي من هذه الموجات عند سطح الأرض قبل مسافة زاوية مقدراها ١٤٣ من بؤرة الزلزال. ولذلك، لا تصل أي موجات أولية (موجات P) إلي سطح الأرض بين ١٤٣ و ١٠٣ حيث يشكل لب الأرض ظلاً على امتداد ذلك النطاق، والذي يسمى نطاق الظل shadow zone. ويشبه ذلك، ما يحدث عندما يحجب جسم معتم أشعة الضوء، ويتكون ظل خلف هذا الجسم. وبعد أكثر من ١٤٣ من بؤرة الزلزال، تعاود موجات P الظهور مرة ثانية على السيزموجرام.

وقد أدى اكتشاف نطاق الظل أن يستنتج الجيولوجيون أن للأرض بلا مكونا من مادة مختلفة عن الوشاح الذي يعلوه. كما استنتجوا أن هذا اللب في حالة سائلة، لأن الأمواج تنحني لأسفل بدلاً من انكسارها لأعلى حينما تنفذ في اللب، مثل انكسار شعاع الضوء لأسفل عند انتقاله من الهواء إلي الماء. ويعني ذلك أن الموجات تنتقل في اللب بسرعة أقل من انتقالها في الوشاح. لأنه من

المعروف أن الموجات الأولية (موجات p) تنتقل بسرعة بكثير في السوائل عنها في المواد الصلبة. ولذلك فإنه من المنطقي أن نستنتج أن وجود نطاق الظل يستوجب أن الجزء الخارجي من الب في حالة منصهرة. وقد ساهم دليل آخر مستمد من سلوك الموجات الثانوية (موجات S) في لتوصل للاستنتاج السابق . فعندما تنفذ الشعة الثانوية في اللب، فإنها تفشل في أن تصل إلي الجانب الآخر للأرض. ويتكون أيضا نطاق ظل بالنسبة لموجات S، إلا أنه أكبر من نطاق ظل موجات P، فموجات S لا تسجل خلال كل المنطقة بعد ١٠٣ من بؤرة الزلزال. ويشير وجود نطاق ظل موجات S إلي أن هذه الموجات لا تنتقل خلال اللب على الإطلاق. ومن المعروف أن الموجات الثانوية لا تنتقل خلال السوائل، ولذلك استنتج الجيولوجيون أن لب الأرض في حالة منصهرة وقد حجب الموجات الثانوية من الانتقال في تلك المسافات.

وحيث إن وجود موجة منعكسة يتطلب وجود حد يفصل بين مادتين، لذلك فإن وجود انعكاسات reflections للموجات داخل الأرض يعني وجود حدود في باطن الأرض. ولنرى ماذا يحدث عندما ترتد موجات P وموجات S عند الحد الفاصل بين طبقتين. ومن أهم التطبيقات العملية لانعكاس الموجات الزلزالية الاصطناعية استخدامها في استكشاف البترول، وكذلك قياس سمك المثالج، أو استخدام الموجات الأولية (موجات P) من مصدر صناعي لتحديد عمق المحيط.

<u>ب– اكتشاف التركيب الداخلي للأرض :</u>

أدى ظهور أجهزة تسجيل الزلازل الحساسة والساعات العالية الدقة إلي دراسة الموجات الزلزالية بدقة. وقد أصبح من الممكن اكتشاف وجود تغير مفاجئ في سرعة لموجات عند أعماق معينة، بالإضافة إلي التغير التدريجي في سرعتها وانعكاساتها كما سبق أن ذكرنا. وحيث إنه قد تم رصد تلك التغيرات الفجائية (الانقطاعات) على مستوى العالم، فقد توصل علماء الزلازل إلي أن الأرض يجب أن تكون مكونة من طبقات مميزة أو أغلفة shells مختلفة في مكوناتها المعدنية أو في بنيتها البلورية. ويبدو أن وجود طبقات مختلفة المكونات (المحتوي) يرجع إلي عملية التمايز differentiation التي حدثت في المراحل الأولى من نشأة الأرض عندما كانت الرض منصهرة تماماً، حيث هبطت المواد الثقيلة ذات الكثافة العالية بينما طفت المواد الأخف ذات الكثافة الأقل إلي أعلى. أما التطبق التركيبي structural layering فهو يمثل مادة لها المكونات نفسها ولكنها تعرضت إلي تغير في أطوارها. ويحدث التغير في الطور عندما ينصهر الصخر كلية أويقارب ذلك، أو عندما تعيد الذرات ترتيب نفسها في المعادن في بنيات بلورية أكثر إحكاما نتيجة للضغوط الهائلة التي توجد عند الأعماق الكبيرة.

وبناء على نتئج دراسة الزلازل التي جمعت من محطات الرصد المنتشرة على مستوى العالم، فقد تم عمل دراسة تفصيلية عن باطن الأرض.

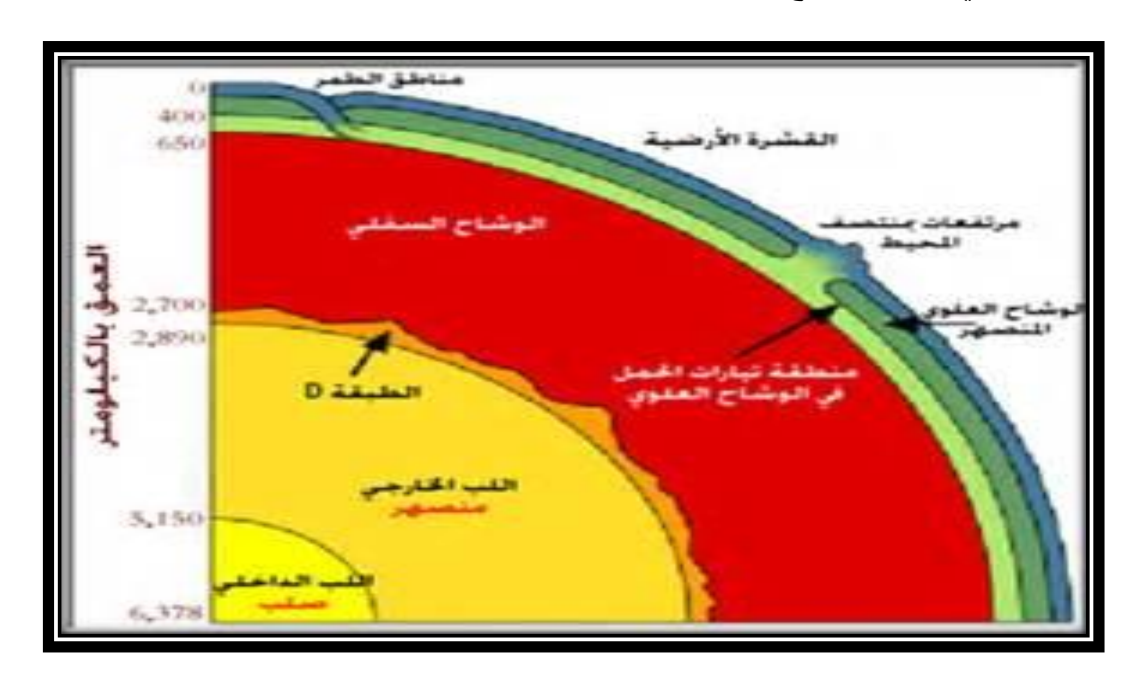
<u>وتوضح تلك الدراسة أن الأرض تنقسم إلي أربع طبقات رئيسية هى:</u>

(١) **القشرة crust** وهى طبقة خارجية رقيقة جداً.

(٢) **الوشاح mantle** وهو طبقة صخرية تقع تحت القشرة ويبلغ سمكها الأقصى ٢٨٨٥كم.

(٣) **اللب الخارجي** outer core وهو طبقة يبلغ سمكها حوالي ٢٢٧٠كم وله خصائص سائل متحرك.

(٤) **لب داخلي** inner core وهوعبارة عن جسم كروي فلزي صلب يبلغ نصف قطره ١٢١٦كم. وتتميز كل طبقة من تلك الطبقات بمجموعة من الخصائص نعرضها فيما يلي، بالإضافة إلي بعض الملامح الخاصة لتلك الطبقات.



<u>١ – القشرة :</u>

توصل العالم اليوغوسلافي موهوروفيتش Mohorovicic إلي الدليل على وجود حد فاصل بين القشرة الأرضية والوشاح، حيث لاحظ أن أجهزة السيزموجراف الموجودة على بعد حوالي ٨٠٠كم من بؤرة الزلزال السطحية، والتي تقع بؤرتها على بعد حوالي ٤٠كم من سطح الأرض، قد سجلت مجموعتين متميزتين من موجات P وموجات S. واستنتج موهوروفيتش أن المجموعة الأولى من موجات P وs قد انتقلت من البؤرة إلي محطة الرصد عبر مسار مباشر خلال القشرة الأرضية، بينما المجموعة الثانية من موجات P وs والتي بسرعة أكبر نسبيا، فهى الموجات التي انكسرت عند عمق معين في باطن الأرض، ثم نفذت في نطاق سرعة أعلى يقع أسفل القشرة، ثم انتقلت خلال هذا النطاق لتنعكس مرة أخرى لأعلى إلي سطح الأرض . وقد افترض موهوروفيتش أن هناك حداً مميزا يفصل القشرة عن نطاق يوجد أسفلها يختلف في المكونات

الصخرية. ويشير العلماء الآن إلي هذا الحد باسم انقطاع موهوروفيتش Mohorovicic discontinuity ويعرف بأنه حد انقطاع زلزالي يحدد قاعدة القشرة الرضية. ويسمى هذا الحد عادة بانقطاع – إم M- discontinuity، ويعرف اختصارا بموهو Moho.

وقد استخدمت سرعات الموجات الزلزالية في المعمل لتحديد عمق انقطاع موهو ولتقدير المكونات الصخرية المحتملة للقشرة الأرضية. ويصل سمك القشرة تحت قيعان المحيطات إلي أقل من ١٠كم، حيث تدل خصائص المرونة للقشرة المحيطية أنها مكونة من صخور البازلت والجابرو. ويختلف سمك القشرة القارية ومكوناتها الصخرية عن القشرة المحيطية، حيث يتراوح سمك القشرة القارية من ٢٠ إلي ٦٠كم، وتميل لأن تصبح أكثر سمكا تحت كتل الجبال الأساسية. وتدل خصائص المرونة لصخور القشرة الرضية أنها نمكونة أساسا من صخور الجرانيت والديوريت، على الرغم من أنها تتكون من صخور تشبه صخور القشرة المحيطية في بعض المناطق الواقعة فوق انقطاع موهو مباشرة. وتتوافق تلك النتائج مع المعلومات التي تم الحصول عليها عن القشرة الأرضية من الدلائل الأخرى مثل التخريط الجيولوجي والحفر العميق في القشرة الأرضية. وقد أعطي هذا التوافق في النتئج الثقة للجيولوجيين لاستنتاج تركيب الوشاح والمكونات المعدنية له، حيث يندر وجود دلائل أخرى لتقدير تركيب ومكونات هذا الوشاح.

٢ – الوشاح :

يعتبر الوشاح لغزا كبيرا، على الرغم من ضخامته وتحكمه فيما يحدث في القشرة الأرضية، حيث لا يمكن رؤيته. وتترواح سرعة الموجات الأولية (موجات P) في القشرة بين ٦ إلي ٧كم/ثانية، بينما تكون تلك السرعات تحت خط موهو أكبر من ٨كم/ثانية . وتظهر التجارب المعملية أن سرعة الموجات الأولية في الصخور الشائعة في القشرة الرضية مثل الجرانيت والجابرو والبازلت تتراوح بين ٦ و٧كم/ثانية، بينما تزيد تلك السرعات عن ٨كم/ثانية في الصخور الغنية بالمعادن العالية الكثافة مثل الأوليفين والبيروكسين. ولذلك فإننا نستنتج أن صخورا مثل صخر البريدوتيت الغني في تلك المعادن يجب أن يكون ضمن المواد الأساسية المكونة للوشاح. ويتفق هذا الاستنتاج مع بعض الأدلة القليلة غير المباشرة والمتاحة والمتعلقة بالمكونات الصخرية للجزء العلوي من الوشاح. فقد نستطيع الحصول على بعض الأدلة من العينات النادرة من صخور الوشاح الموجودة في أنابيب الكمبرليت Kimberlite pipes، وهى كتل صخرية ضيقة تشبه الأنابيب مكونة من صخور نارية متداخلة تحتوي أحيانا على بلورات من الماس، وهى توجد متداخلة في قشور القشرة الأرضية إلا أنها تنشأ في أعماق الوشاح.

٣ – اللب :

تتأثر كل من الموجات الأولية والثانوية بشدة بالحد الموجود عند عمق حوالي ٢٩٠٠كم . فعندما تصل الموجات P إلي هذا الحد، فإنها تنعكس وتنكسر بقوة بحيث يشكل هذا الحد ظلاً للموجات الأولية، وهى مساحة على سطح الأرض تقابل البؤرة السطحية، حيث لا يلاحظ وجود أي موجات أولية (موجات P). وقد استنتج الجيولوجيون أن الحد الموجود على عمق ٢٩٠٠كم هو الحد الفاصل بين الوشاح واللب، حيث أن هذا الحد يمكن تميزه بوضوح. ويشكل هذا الحد نفسه ظلا للموجات الثانوية أكثر وضوحا. ولا يرجع السبب هنا إلي الانعكاس أو الانكسار، بل إلي حقيقة أن الموجات الثانوية لا تنفذ في السوائل. ومن دراستنا لسلوك الموجات الثانوية ومن نطاق الظل الضخم لموجات S، يمكن أن نستنتج أن اللب الخارجي يكون سائلا.

ولا تستطيع الموجات الزلزالية أن تدلنا على تركيب اللب، إلا أنها يمكن أن تساعدنا في التنبؤ بذلك. وتدل سرعة الموجات الزلزالية المحسوبة من زمن الانتقال أن كثافة الصخور تزيد ببطء من حوالي ٣,٣جم/سم٣ عند أعلى الوشاح إلي ٥,٥جم/سم٣ عند الجزء السفلي من الوشاح. ويقدر متوسط كثافة الكرة الأرضية عامة ٥,٥جم/سم٣. ولكي تتم معادلة القشرة والوشاح الأقل كثافة، فإن اللب يجب أن يكون مكونا من مادة لها كثافة تتراوح بين ١٠ – ١١جم/سم٣ على الأقل. ويمثل الحديد المادة الأكثر شيوعاً والأقرب لتحقيق ذلك. ويأتي الدليل على صحة هذا الاعتقاد من النيازك، حيث يعتقد أن النيازك الحديدية iron meteorites تمثل مادة لب كوكب صغير قديم تحطم الآن. وتحتوي معظم النيازك الحديدية على القليل من النيكل، وربما يكون الوضع مشابهاً في لب الأرض. وحيث إن الموجات الثانوية لا تنتقل بعد حد اللب – الوشاح، لذلك يستنتج أن اللب الخارجي يكون في حالة سائلة، ويتكون في معظمه من الحديد، ولكنه يحتوي أيضاً على النيكل وبقايا معادن سيليكاتية من الوشاح السفلي والتي توجد في حالة منصهرة.

٤ – اللب الداخلي :

تدل انعكاسات الموجات الأولية (موجات P) على وجود لب داخلي صلب داخل اللب الخارجي السائل، ويبدو أن تركيبهما متماثل عموما. وربما يرجع السبب في التغير من الحالة السائلة إلي الحالة الصلبة إلي تأثير الضغط بالقرب من مركز الأرض إلي قيمة تعادل ملايين المرات الضغط لجوي العادي، كما ترتفع درجة الحرارة ولكن ليس إلي الدرجة التي تلغي تأثير الضغط. وتتعادل درجة الحرارة والضغط عند قاعدة الوشاح (عند عمق ٢٩٠٠كم) وإلي عمق ٥٣٥٠كم بحيث يكون اللب في الحالة السائلة. ولكن يوجد حد انكسار وانعكاس واضح عند عمق ٥٣٥٠كم، وربما يمثل هذا الحد الانتقال من الحالة السائلة إلي الحالة الصلبة. ومن الواضح أن الضغط يرتفع من عمق ٥٣٥٠كم وحتى مركز الأرض، بحيث يستطيع التغلب على تأثير الحرارة، ويكون الحديد في حالة صلبة ليكون لب الأرض الصلب.

ج – الطبقات المختلفة الخصائص الفيزيائية في الوشاح :

لقد أوضحت الدراسات المختلفة أنه لا توجد اختلافات في المكونات الصخرية للوشاح. وعلى الرغم من أن سرعة الموجات الزلزالية تزداد عموما في الوشاح مع العمق، إلا أن هناك عدة انقطاعات (تغيرات في سرعة الموجات)، والتي يبدو أنها نتيجة تغيرات في الخصائص الفيزيائية للوشاح. فبين عمق ١٠٠كم وهو الحد السفلي للقشرة الأرضية، وعمق ٣٥٠كم تنخفض سرعة كل من الموجات الأولية والثانوية بوضوح، وتعرف هذه الطبقة بين عمق ١٠٠كم و٣٥٠كم بنطاق السرعة المنخفضة low – velocity zone، ويظهر هذا النطاق تحت قيعان المحيطات بشكل أكثر وضوحا عنه تحت القارات. ويقابل نطاق السرعة المنخفضة الغلاف اللدن (الاسثينوسفير) وهو طبقة تماثل في مكوناتها الصخرية مكونات الوشاح أعلاها مباشرة، إلا أنها أقل في الصربة rigidity وأقل في المرونة elasticity أيضا، مع أنها أكثر لدونة ductile عن المناطق لامجاورة لها.

والتفسير المقبول لوجودنطاق السرعة المنخفضة، هو أن التدرج الحراري للأرض geothermal gradient في المنطقة بين ١٠٠كم حتى ٣٥٠كم يصل إلي درجات حرارة من بداية الانصهار الجزئي لصخر الوشاح. وإذا كان هذا التفسير صحيحا فإما أن شدة الصخر rock strength تنخفض بشكل حاد عند درجات الحرارة القريبة من الانصهار، وإما أن الانصهار يبدأ وتتكون كمية صغيرة من السوائل التي تكون طبقة رقيقة جدا حول حبيبات المعادن، والتي تعمل على تخفيف الاحتكاك. ويجب أن تكون كمية المادة المنصهرة قليلة جدا – في حالة افتراض حدوثها – لأن الموجات الثانوية (موجات S) تنتقل خلال هذا النطاق، ونحن نعرف أن موجات – S لا تنتقل خلال السوائل. فأي سائل، مثل غلالة سميكة من الزيت، يعمل على تخفيف الاحتكاك بين حبيبات المعدن في الوشاح، ويعمل في نفس الوقت على خفض سرعة الموجات نتيجة انخفاض صفات المرونة.

ويلاحظ أن نظرية تكتونية الألواح تفترض أن ألواح الغلاف الصخري للأرض تنزلق فوق نطاق لدن إلي حد ما في الوشاح. ومن هنا فإن وجود نطاق السرعة المنخفضة هذا يمثل عنصرا مهماً لنظرية تكتونية الألواح، حيث إنه يثبت وجود الغلاف اللدن (الأسثينوسفير). ويتطابق الحد العلوي لنطاق السرعة المنخفضة مع الحد السفلي للغلاف الصخري. وهكذا، فإن نطاق السرعة المنخفضة ينطبق مع الغلاف اللدن (الاسثينوسفير).

وقد حددت انقطاعات أخرى عند مستويات أعمق في الوشاح. وتمثل تلك الانقطاعات تغيرات في البنية البلورية وليس في المكونات المعدنية، كما هو الحال عند الحدود (الانقطاعات) بين القشرة الأرضية والوشاح، وبين الوشاح ولب الأرض. ويفترض الجيولوجيون أن الوشاح يتكون كله من المادة نفسها، إلا أن البنية البلورية للمعادن تتغير مع العمق. حيث تزداد سرعة الموجات الزلزالية قليلا عند عمق ٤٠٠كم نتيجة للتغر في تركيب المعادن. وتسمى عملية إعادة ترتيب (تعبئة) الذرات، والتي تحدث نتيجة التغير في درجات الحرارة والضغط بالانتقال نتعددة الشكل

polymorphic transition. فمعدن الأوليفين عند عمق ٤٠٠كم تعيد ذراته ترتيب نفسها في معدن متعدد الشكل polymorph أكثر كثافة، ويتحول إلي تركيب يشبه ذلك الموجود في عائلة من المعادن تعرف باسم سبينيل spinels (معدن الماجنيتيت أحد المعادن التي تضمها تلك المجموعة).

وهناك زيادة في السرعة تحدث عند عمق ٦٧٠كم، وهذا الانقطاع من الصعب تفسيره، على الرغم من افتراض بعض العلماء أنه يحدث عند هذا الحد تكسر للمعادن إلي أكاسيد فلزات مثل أكسيد الحديد FeO وأكسيد الماغنسيوم MgO وأكسيد السيليكون SiO2. وهناك انقطاع ثالث يوجد عند عمق حوالي ١٠٥٠كم حيث تزداد عنده سرعة موجات P مرة أخرى. وتقع تلك الانقطاعات الثلاثة داخل نطاق يطلق عليه النطاق الانتقالي transitional zone والذي يفصل بين الوشاح العلوي والوشاح السفلي.

- الجاذبية الأرضية وتوازن القشرة الأرضية :

أوضح سيرإسحق نيوتن (١٦٤٢ – ١٧٢٧م) Sir Isaac Newton في قانونه العام عن الجاذبية أن قوة الجذب بين كتلتين تتناسب طرديا مع مادة تلك الكتلتين وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما . ولذلك فإن قوة الجذب بين كتلتين كبيرتين مثل القمر والأرض يكون أكبر من الجاذبية بين جسمين تكون كتلتهما ضغيرة. وعادة، ما نشير إلي قوة الجاذبية بين جسم ما والأرض بأنه وزنه weight.

ومن المفترض أن تكون الجاذبية الأرضية ثابتة في كل مكان على سطح الأرض، إذا كانت الأرض كروية تماماً زمتجانسة كلية ولا تدور. وحيث أن الأرض تدور، فإن قوة الطرد المركزي التي تنشأ عن هذا الدوران يعادلها جزئياً قوة الجاذبية الأرضية .

وقد أوضحت القياسات الدقيقة أن الأرض ليست كروية تماماً، بل هى عبارة عن جسم بيضاوي مسطح قليلاً عند الأقطاب ومنتفخ قليلاً عند خط الاستواء. ويكون نصف قطر الأرض عند خط الاستواء أكبر بحوالي ٢١كم منه عند الأقطاب. وحيث أن قوة الجاذبية التثاقلية بين كتلتين تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين مركزيهما، فإن الجذب الذي تسببه الجاذبية الأرضية gravity على جسم عند أقطاب الأرض يكون أكبر قليلاً منه عند خط الاستواء. فالرجل الذي يزن حوالي ٨٠,٥كجم عند انتقاله إلي خط الاستواء. وإذا لاحظ الشخص النتقل من القطب الشمالي إلي خط الاستواء وزنه بدقة، فإنه سيلاحظ أن وزنه يتغير بغير انتظام. ومن هنا، فإننا نلاحظ أن الجاذبية الأرضية تتغير بغير انتظام. ولنفس السبب، فإن وزن جسم ما يكون أقل قليلاً فوق سطح الأرض عن وزنه عند مستوى البحر.

ويستخدم الجيوفيزيقيون جهازاً حساسا يسمى جرافيميتر (مقياس التثاقل) gravimeter لقياس الاختلافات في قوة الجاذبية. وتشبه أجهزة التثاقل مسجلات الزلازل (أجهزة السيزموجراف) ذات القصور الذاتي. فتتكون أجهزة التثاقل من كتلة ثقيلة معلقة في زنبرك حساس . وحينما تكون

الأرض مستقرة، ولا يوجد اهتزاز نتيجة الزلازل، فإن قوة الجذب التي تؤثر على الزنبرك نتيجة الزلازل، فإن قوة الجذب التي تؤثر على الزنبرك نتيجة الكتلة الثقيلة تمثل مقياساً دقيقاً للجذب التثاقلي gravitational pull، حيث إنها تستجيب لأي تغيرات في الجاذبية الأرضية. وقد استخدمت أجهزة قياس التثاقل في عمليات البحث عن خامات الهيدروكربونات وغيرها من الخامات المعدنية، حيث تأكد الجيولوجيون من وجود شاذات تثاقلية فوق الأجسام المدفونة، مثل معادن الخام (الركاز) ore minerals وقباب الملح. كما يمكن تحديد بعض التراكيب الجيولوجية باستخدام أجهزة مقياس التثاقل فوق سطح الأرض .

وتكون قياسات الجاذبية الأرضية فوق راسب من خام الحديد أعلى منها فوق راسب غير متماسك نظراً لارتفاع كثافة خام الحديد عن الراسب المحيط به. وتسمى مثل تلك الانحرافات عن قوة الجاذبية الأرضية المتوقعة بشاذات تثاقلية gravity anomalies. وتدل القياسات فوق جسم خام الحديد على زيادة في مادة كثيفة أو بصورة أبسط زيادة الكتلة mass excess بين سطح الأرض ومركزها، وتعتبر شاذة تثاقلية موجبة positive gravity anomaly، بينما يشير وجود شاذة تثاقلية سالبة nwgative gravity anomaly فوق رواسب منخفضة الكثافة إلي نقص الكتلة mass deficiency، نظرا لأن قوة جاذبية الأرض أقل عن المتوسط المتوقع. وتوجد أيضاً الشاذات التثاقلية السالبة فوق قباب الملح وعند نطاقات الاندساس مما يشير إلي أن القشرة الرضية ليست في حالة اتزان.

أ – قاعدة توازن القشرة الأرضية :

قام المساحون البريطانيون عند عمل أول مسح طوبوغرافي في الهند بإجراء قياسات للمسافة بين مدينتين تقعان جنوب سلسلة جبال الهيمالايا وتبعدان عن بعضهما بحوالي ٦٠٠كم باستخدام طريقتين مختلفتين. وتعتمد الطريقة الأولى للقياس على طرق المساحة التقليدية، بينما تعتمد الثانية على استخدام الطرق الفلكية.

وقد أظهرت دراسة الجاذبية الأرضية أن الجبال لها جذور تتكون من مواد منخفضة الكثافة تمتد في الوشاح. وإذا افترضنا عدم وجود هذا الجذر منخفض الكثافة، فإن المسح التثاقلي gravity survery في منطقة جبلية لابد أن يظهر شاذة تثاقلية موجبة هائلة. ويرجع السبب في عدم وجود تلك الشاذة إلي أنه لا يوجد زيادة في الكتلة. ولذلك فإن بعض صخور الوشاح الكثيف يجب أن يحل محلها صخور قشرة أخف. وقد أثبتت الدراسات الزلزالية أيضا وجود جذور منخفضة الكثافة تحت الجبال.

ويسمى اقتراح إيري الآن بقاعدة توازن القشرة الأرضية (أيزوستاسي) principle of isostasy. وطبقاً لهذه القاعدة فإن القشرة الأرضية تكون في حالة توازن، ويمكن مقارنتها بطفو الكتل المكونة للغلاف الصخري فوق الغلاف اللدن (الأستينوسفير) الأكبر كثافة. وتشير تلك القاعدة إلي وجود جذور من صخور القشرة الأرضية المنخفضة الكثافة ممتدة ومنغرسة في

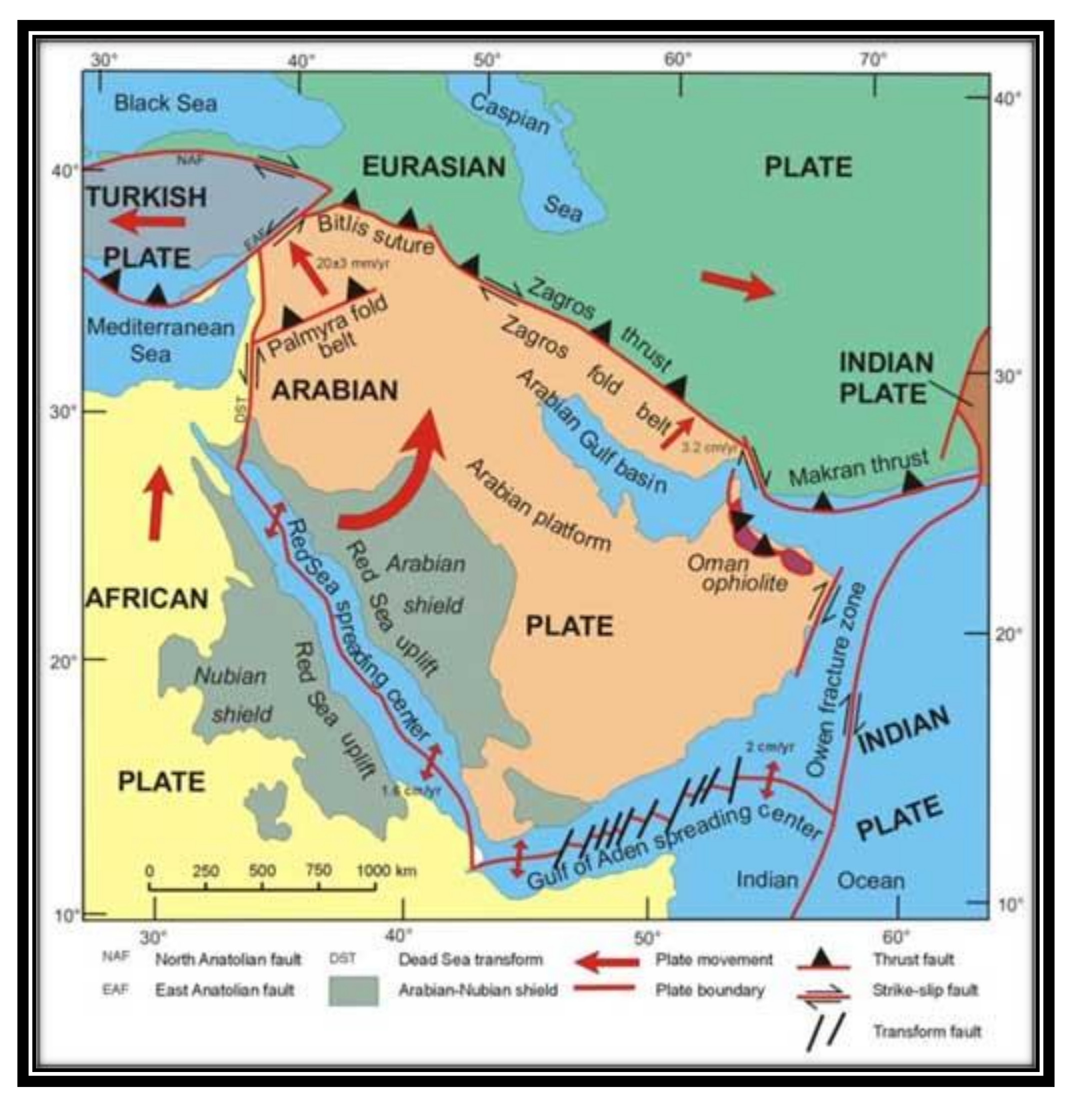
صخور الوشاح الأكبر كثافة، لتدعيم القارات والجبال. ويمكن فهم هذه القاعدة بسهولة إذا ما قورنت بجبل الجليد. فالجليد أقل كثافة من الماء بنسبة ضئيلة، ولذلك فهو يطفو. وطبقاً لقاعدة أرشميدس للطفو، فإن جبل الجليد يغوص في الماء حتى يزيح حجما من الماء مساو لوزنه الكلي.

وعندما يغوص جبل الجليد ليصل إلي حالة اتزان، فإن حوالي ١٠% من حجمه تبرز فوق سطح الماء. فإذا انصهر بعض الجليد فوق مستوى سطح الماء، فإن جبل الجليد يرتفع لكي يحافظ على النسبة نفسها من الجليد فوق سطح الماء وتحته.

حركة الصفيحة العربية :

من المعروف أن الزلازل لا تحدث بطريقة عشوائية ولكنها تحدث في أماكن معروفة وهي ما تسمى بالأحزمة الزلزالية، وهي عادة تقع على الحدود الفاصلة للصفائح التكتونية المعروفة، ومن المعروف أن الصفيحة العربية تتأثر بثلاثة أنواع من الحدود التكتونية؛ وهي الحدود التباعدية، والحدود التقاربية، والحدود التماسية، وتمثل شبة الجزيرة العربية الجزء الأكبر من هذه الصفيحة، ومن هنا جاءت تسميتها بالصفيحة العربية. ويحد هذه الصفيحة من الغرب نطاق اتساع قاع البحر الأحمر بمعدل انفتاح حوالي ٢ سم في السنة، ومن الجنوب نطاق اتساع قاع منتصف خليج عدن، وفى كلتا المنطقتين تزداد مساحة هذه الأجزاء من الصفيحة العربية، كما تشكل جبال زاجروس ومكران بايران وجبال طوروس بجنوب تركيا الحدود الشرقية والشمالية للصفيحة العربية، وهى حدود تقاربية يمثلها نطاق تصادم مع الصفيحة ألا وراسية، ويحد الصفيحة العربية من الشمال الغربي حد تماس يساري، يسمى فالق البحر الميت ويمتد من الطرف الشمالي للبحر الأحمر حتى جبال طوروس بجنوب تركيا مارا بالبحر الميت، ويحد الصفيحة من الجنوب الشرقي حد تماس يميني يمتد من الطرف الشرقي لخليج عدن حتى الطرف الشرقي لجبال مكران بباكستان، ويطلق علية فالق أوينز، وتتحرك الصفيحة العربية ناحية الشمال الشرقي بين حدي التماس المذكورين، فيؤدى ذلك إلى اتساع مساحة البحر الأحمر وخليج عدن من جانب، ومزيد من الاصطدام عند جبال مكران وزاجروس وطوروس من الجانب الآخر.

وهذا يفسر أسباب حدوث الزلازل عند حدود الصفيحة العربية وعند سلاسل جبال زاجوروس وجبال طوروس وخليج عدن والبحر الأحمر وعند فالق البحر الميت وفالق أوينز، وبالتالي فأن هذه القوى التي تؤثر على المملكة وخاصة على حوافها تنتقل إلى داخل الصفيحة العربية وتتجمع إلى أن تصل إلى حد يزيد عن تحمل الصخور الموجودة، فتتسبب في حدوث زلازل أو قد تعمل على إعادة تنشيط للفوالق الموجودة داخل نطاق الصفيحة العربية.



العناصر الحركية (التكتونية) في الشرق الأوسط وتحركاتها النسبية (جونسون:١٩٩٨).

تحدث العديد من الهزات الأرضية بالقرب من الحدود الفاصلة بين الصفيحة العربية والمناطق المحيطة بالصفائح التكتونية، حيث يحدث نشاط زلزالي كبير على طول نظام الصدع التحولي في البحر الميت، كما يحدث العديد من الهزات الأرضية أيضا على طول الحافة الشمالية الشرقية للصفيحة العربية، نتيجة لاصطدامها مع الصفيحة الإيرانية في منطقة الاندساس بمحاذاة حزام جبال زاغروس، مع وجود نشاط زلزالي على طول محور البحر الأحمر وخليج عدن. على سبيل المثال، وقع زلزال في تركيا عام ١٩٩٩م تسبب في قتل ما يقرب من عشرين ألف شخص، وإصابة حوالي أربعين ألفاً، وتشريد مائتين وخمسين ألفاً، بالإضافة إلى خسائر كبيرة في الممتلكات.

تغطي صخور القاعدة التابعة لعصر ما قبل الكمبري (الدرع العربي) ثلث مساحة المملكة العربية السعودية، في حين أن رواسب حقب الحياة الظاهرة (الرصيف العربي) تغطي المساحة

المتبقية، وربما كانت معظم الصدوع العديدة التابعة لعصر ما قبل الكمبري داخل الدرع العربي، بما في ذلك اتجاهات صدع نجد الرئيس مثل نطاق صدع (الريقة Ar-Riqa) غير نشطة إلى حد كبير خلال حقب الحياة الظاهرة، مع ذلك، فمن الممكن أن يعود النشاط المحلي من وقت لآخر، اعتماداً على مدى الإجهاد المؤثر على المنطقة. لا تزال بعض المناطق البركانية في الجزء الأوسط والغربي من الدرع العربي، التابعة لحقب الحياة الحديثة، نشطة بشكل متكرر، ويصاحب هذا النشاط البركاني نشاط زلزالي منخفض القدر الزلزالي، يوجد في غرب المملكة قواطع عديدة داخل الدرع العربي وموازية للبحر الأحمر، وكذلك الصدوع الساحلية المتحولة، وقد يعزى نشاط بعض هذه الصدوع إلى الضغوط التكتونية الإقليمية. وبقدر الاهتمام الذي تلقاه مخاطر الزلازل في المملكة العربية السعودية، فإن المنطقة الأكثر نشاطاً تقع على طول خليج العقبة (الصدع التحويلي للبحر الميت)، حيث يبلغ معدل الحركة الجانبية إلى اليسار المنتسب لسيناء من ٤ إلى ٥ مم سنوياً. يقع بمنطقة خليج العقبة بصورة أساسية عدد من الصدوع التحويلية اليسارية النشطة شبه المتوازية Sub-parallel مع الأحواض العميقة المتباعدة Pull-apart، (ذات الأعماق الكبيرة في خليج العقبة)، وبالتالي فإنه يشكل منطقة زلازل مدمرة تحدث بشكل منتظم.

الزلازل في المملكة العربية السعودية:

الزلازل التاريخية :

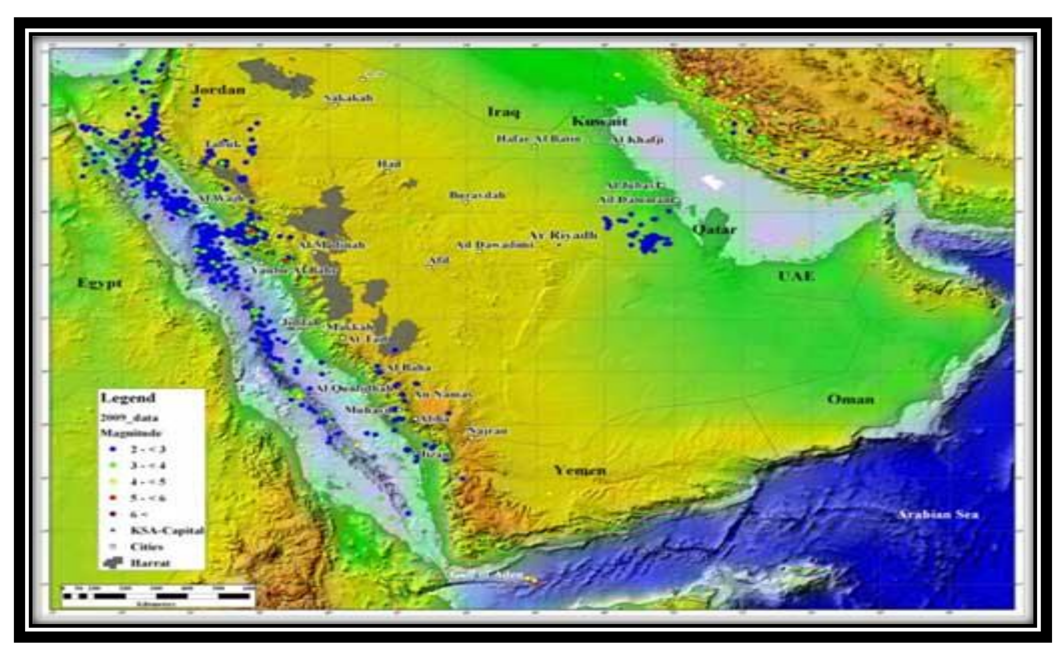
ذكرت مصادر تاريخية أنه على أقل تقدير عبر الألف سنة الماضية وقعت زلازل شعر بها الأهالي في داخل حدود المملكة العربية السعودية، وقد عُرفت أماكن وقوعها بشكل تقريبي جداً نظراً لانخفاض عدد السكان وقلة السجلات في الماضي. تشير الإحصاءات الحالية إلى أن السجلات التاريخية حول الأنشطة الزلزالية غير مكتملة إلى حدٍ كبير، حتى بالنسبة للزلازل التي بلغت قوتها ٦ درجات أو أكبر من ذلك. ومن الأحداث الموثقة بشكل جيد وقوع أحد الانفجارات البركانية، أو تدفق الحمم البركانية في حرة رهاط قرب المدينة المنورة في عام ٦٥٤ هـ (١٢٥٦م)، الذي صاحبه نشاط زلزالي ملحوظ ولا تزال هذه المنطقة تشهد نشاطاً زلزالياً منخفضاً حتى الآن. ومن المعروف أن آخر حدث زلزالي هام هو زلزال "حقل" الذي وقع عام ١٩٩٥ م في خليج العقبة (بقوة ٧,٣ عزم زلزالي) نجم عنه أضرار كبيرة أثرت على المدن الواقعة على جانبي خليج العقبة، وشعر به الناس على بعد مئات الكيلومترات. كما أن الزلازل التي تبلغ قوتها ٦ درجات وتحدث على طول محور البحر الأحمر، لا يشعر بها أهالي المدن الواقعة على جانبي البحر الأحمر، إلا أنها قد تشكل خطراً محسوساً على البنية التحتية.

وفي الآونة الأخيرة، وقع زلزال متوسط في عام ٢٠٠٩ قوته ٥,٤ درجة في حرة الشاقة (لونيير) إلى الشمال من مدينة ينبع، مرتبط بنشاط الجسم الصهاري في أعماق القشرة الأرضية الضحلة، وعلى الرغم من انه لم تحدث سوى أضرار طفيفة في الممتلكات، إلا أنها تشير إلى احتمال حدوث بعض المخاطر المرتبطة بالزلازل في الدرع العربي .

الأنشطة الزلزالية فى المملكة العربية السعودية وما حولها:

يوضح الشكل أدناه توزيعات البؤر الزلزالية التي يزيد قوتها عن درجتين على مقياس ريختر في قائمة الزلازل بهيئة المساحة الجيولوجية السعودية خلال السنوات حتى عام ٢٠٠٩م، إن تحديد مواقع الزلازل التاريخية (قبل استخدام الأجهزة المتطورة) يكون في الغالب عرضة للأخطاء الواضحة المتعلقة بموقعه، ربما بما يزيد على مساحة ١٠٠ كيلومتر لبعض الأحداث، حيث تعتمد دقة مواقع وأعماق البؤر الزلزالية المحددة بأجهزة الرصد الزلزالي على عدد المحطات والمسافة بين الأحداث الزلزالية ومحطات رصدها ومدى التغطية بعدد كاف من المحطات من جميع الجهات، لذا تقوم هيئة المساحة الجيولوجية السعودية بتركيب العديد من محطات الرصد الزلزالي الجديدة والمجهزة بأحدث المعدات في المملكة، ويجري تحديث البيانات والمعلومات الزلزالية باستمرار.

يعكس النشاط الزلزالي عام ٢٠٠٩م حدوث البؤر الزلزالية في اتجاهات محددة نظراً للتحسن الكبير في دقة المواقع المحددة في السنوات الأخيرة مع ازدياد وتحديث محطات شبكات الرصد الزلزالي في المملكة العربية السعودية. وبصرف النظر عن المستوى المرتفع المتوقع للنشاط الزلزالي على طول حدود الصفيحة الرئيسية، تجدر الإشارة إلى أن هناك نشاطاً زلزالياً منخفض المستوىومستمراً في منطقة الدرع العربي، كما يوجد نشاط زلزالي ملحوظ بمنطقة حرة الشاقة (لونيير)، على بعد حوالي ١٢٠ كلم إلى الشمال الشرقي من مدينة ينبع. وبما أن هذه منطقة نشاط زلزالي مستمر منذ بدأ الرصد الزلزالي عام ٢٠٠٧، إلا أنها قد تعرضت لنشاط زلزالي ملحوظ في الآونة الخيرة مرتبطاً بنشاط الجسم الصهاري في النصف العلوي من القشرة الأرضية.



البؤر الزلزالية في المملكة العربية السعودية وحولها في كل السنوات حتى عام ٢٠١٠

الهزات الأرضية في حرة الشاقة (لونيير):

منذ أواخر عام ٢٠٠٧ حدثت حشود من الهزات الأرضية بلغت أكثر من ثلاثين ألف هزة في حرة الشاقة (لونيير)، وهي حقل من االطفوح البركانية البازلتية تابعة للعصر الجيولوجي الهولوسيني ، وتقع غرب المملكة العربية السعودية شمال شرق مدينة ينبع.

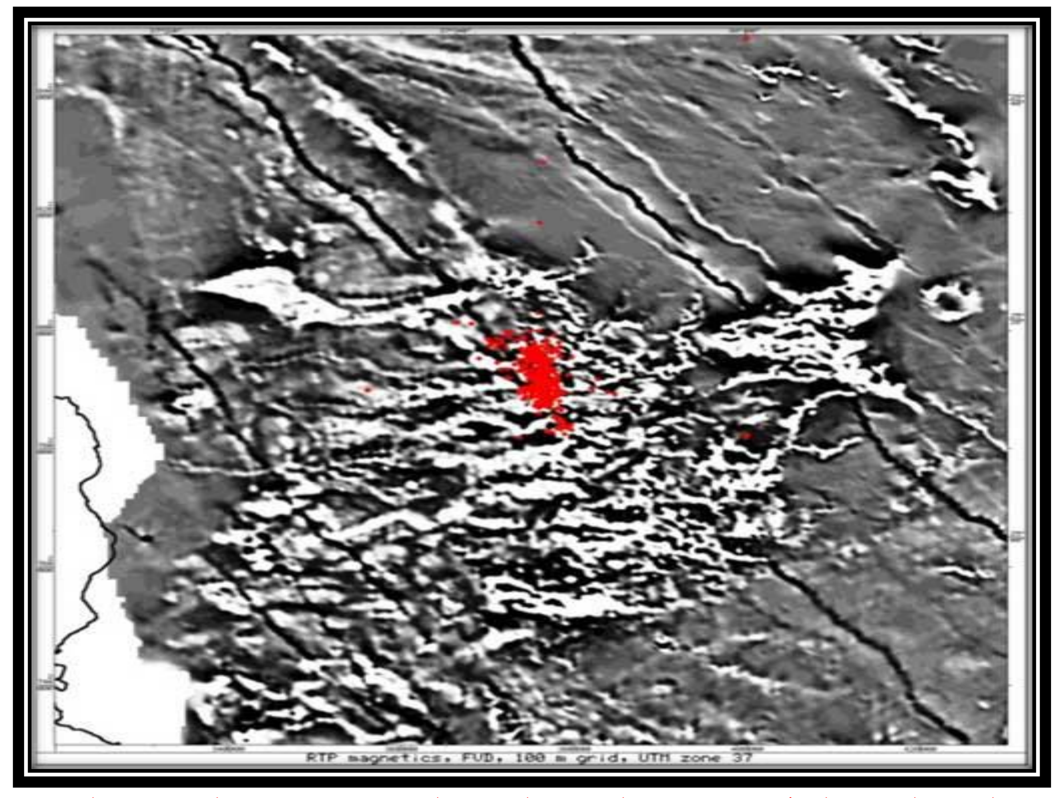
حدثت معظم الأنشطة الزلزالية الأخيرة بالقرب من تقاطع القواطع الممتدة على طول ساحل البحر الأحمر (غير نشطة إلى حد كبير) مع أحد الصدوع التحويلية للبحر الأحمر الممتدة داخل سحل البحر الأحمر، كما تمدت بعض هذه الصدوع التحولية إلى داخل الدرع العربي ووتقاطع مع شبكة من صدوع تابعة لعصر ما قبل الكمبري. على الرغم من أن الكثافة السكانية متناثرة في المنطقة، وأقرب مدينة هي العيص التي تبعد أكثر من ٤٠ كيلومتراً من المركز الرئيسي للنشاط الزلزالي، فقد أنشئت شبكة محلية صغيرة فيها ١٢ أجهزة محطات رصد زلزالي واسعة المدى لقياس الزلازل في المنطقة لرصد النشاط الزلزالي.

حدث نشاطاً زلزالياً ملحوظاً يوم ١٩ مايو ٢٠٠٩م في حرة الشاقة (لونيير) شمال شرق مدينة ينبع، حيث تم تسجيل ١٩ هزة أرضية بلغت قوتها أكبر من ٤ درجات على مقياس ريختر، بما في ذلك الزلزال الذي قوته ٥,٤ درجة على مقياس ريختر، وتسبب في خسائر طفيفة في الإنشاءات والمباني بمدينة العيص الواقعة على مسافة٤٠ كلم جنوب شرق منطقة النشاط الزلزالي. وقد تم إسقاط البؤر الزلزالية لتسلسل الهزات الأرضية الرئيسة التي وقعت من تاريخ ١٣ مايو إلى ٧ يونيو ٢٠٠٩ (حوالي ٩٥٠ هزة) بشكل نقاط على صورة عرضها حوالي ٣٦ كم في موقع Google Earth، المناطق الداكنة في الصورة توضح الطفوح البركانية المتدفقة (الحرّات). والألوان الأخرى تشير إلى قوى الهزات المسجلة، فيشير اللون الأزرق إلى الزلازل الصغيرة أقل من ٢ درجة واللون الأزرق االتركواز إلى قوى الزلازل ما بين ٢- ٣ درجات، واللون الأخضر ما بين ٣-٤ درجات ثم الأحمر ما بين ٤- ٥ درجات ثم إلى أكبر حدث وهو الزهري ويُشير إلى الزلزال الذي حدث في ١٩ مايو والذي بلغت قوته ٥,٤ درجات على مقياس ريختر.



الزلازل في منطقة حرة الشاقة(لونيير) في ١٣مايو إلى ٧يونيو ٢٠٠٩م

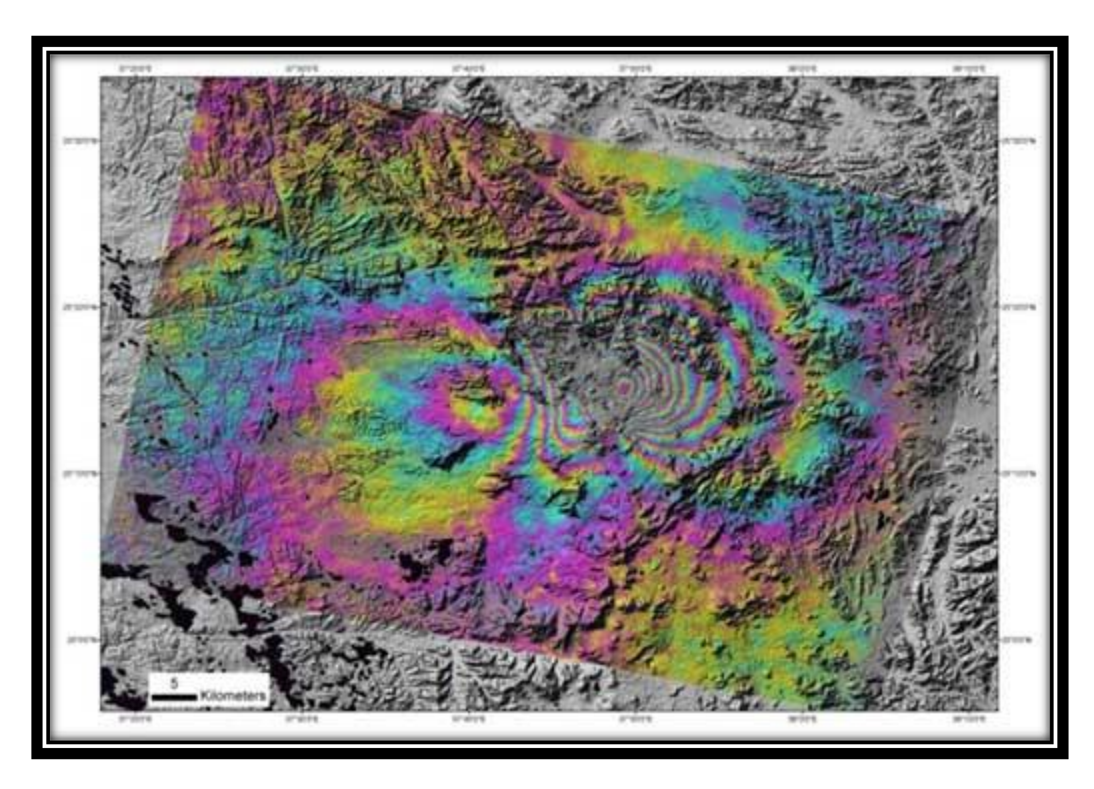
تم توقيع الهزات الأرضية على خريطة المشتقة الأولى العمودية للمجال المغناطيسي المرجعة إلى القطب بهدف ربط النشاط الزلزالي مع التراكيب النباتية للمنطقة، حيث يتضح أن المنطقة ذات الترددات المكانية العالية (تفاصيل عالية السعة) التي تغطي جزءاً كبيراً من وسط الصورة ترتبط مكانياً مع مناطق الطفوح البركانية السطحية التي تميل إلى أن تكون أكثر مغناطيسية من الصخور المحيطة فيها. تمتد منطقة النشاط الزلزالي بإتجاه الشمال إلى الشمال الغربي تقريباً بالتوافق مع إمتدادات لقواطع وصدوع واضحة تتجه إلى الشمال الغربي لهذه الصورة المغناطيسية. يرجع عمر هذه القواطع الإقليمية لحقب الحياة الحديثة التي نشأت خلال مرحلة التصدع الأولية التي حدثت في بداية إنفتاح البحر الأحمر. يبدو أيضا في الخرائط المغناطيسية أن هناك بعض الاتجاهات نحو الشمال الشرقي تقطع الحرات، وهذه قد تمثل استمرار نظام الصدع التحويلي الساحلي لنظام الصدع التحويلي البري. وبالتالي فإن النشاط الزلزالي الحديث قد يكون بسبب عودة النشاط لمناطق الضعف الواقعة في شبكة الصدوع المتقاطعة، على الرغم من أنه في مناطق أخرى يبدو أن نظام القواطع الساحلية غير نشط إلى حد كبير.



مقارنة خريطة المشتقة الأولى المغناطيسية العمودية المتجهة إلى القطب في منطقة حرة الشاقة مع بؤر الزلازل في الفترة من ١٣ مايو وحتى ٧ يونيو ٢٠٠٩م

أثناء الحدث الذي وقع في ١٩ مايو ٢٠٠٩، ظهرت تشققات سطحية بطول ٨ كيلومترات في الجزء الشمالي من سطح حرة الشاقة، وقد أوضحت الصور الفضائية الأولية بالقمر الاصطناعي (InSAR) حدوث رفع في سطح الحرة، على مدى عشرات من الكيلومترات في المنطقة، مع

حدوث أخدود خسفي مركزي، مع وجود انتفاخ بمنطقتين على جانبي القاطع الحديث وانخساف بينهما، وتم تحديد أبعاد هذه التشوهات، وقد كانت مفيدة في تحديد عمق الجسم الصهاري، حيث اتضح وجودها على عمق اقل من ٥ كم، فيما أن عرض الجسم الصهاري حوالي ٢ م تقريباً، مع ظهور مستويات ضحلة من الجسم الصهاري (بعمق حوالي ٢ كم)، مع حدوث توتر في القشرة الأرضية متجه نحو الشمال الشرقي في هذه المنطقة من حافة البحر الأحمر. ونحمد الله أن الصهارة لم تصل إلى سطح الأرض، وعلى الرغم من انخفاض في مستوى النشاط الزلزالي حالياً، فقد واصلت هيئة المساحة الجيولوجية السعودية مراقبة المنطقة من كثب.



صورة مبدئية بالقمر الاصطناعي (InSAR) أنتجتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، توضح حدوث ارتفاع في سطح الأرض وتشوهات مصاحبة للهزة الأرضية التي حدثت في ١٩ مايو ٢٠٠٩ م في حرة الشاقة (لونيير). حدث ارتفاع في سطح الأرض على نطاق واسع امتد لمسافة عشرات من الكيلومترات، مع حدوث أخدود خسفي مركزي يحده صدعين في منطقة الهزات الأرضية.

هل الزلازل غضب من الله ؟ ..

هل الزلازل غضب من الله ؟ أما إنذار وتحذير أم هو بلاء ؟

* قد تكون الزلازل آيه داله علي وحدانية وقدرة الله سبحان وتعالي .
* قد تكون الزلازل تخويفا وعظة من الله لعبادة .
* قد تكون الزلازل غضبا وانتقاما من الكافرين .
* قد تكون الزلازل عذابا في الدنيا للمسلمين ورحمة لهم في الآخرة .
* قد تكون الزلازل ابتلاء لأهل القتل بالهدم .
* قد تكون الزلازل تذكيرا وإشارة ليوم القيامة يوم الزلزلة الكبرى .

أضرار الزلازل:

١- انهيارات أرضية أو ارتفاع الأراضي في مناطق معينة ينتج منها تكوين أو غرق بعض الجزر أو المناطق الساحلية.
٢- انزياح جانبي أو عمودي على طول امتداد الصدع قد يتسبب في تدمير الممتلكات.
٣- اهتزاز الموجات الزلزالية يمكن أن يدمّر أو يلحق الضرر بالمنشآت التي لا تقوى على تحمل إزاحة جانبية أو عاموديه.
٤- هبوط أرضي أو تساقط صخور من قمم الجبال، وكذلك الهبوط في المناطق التي بها كهوف أو تجاويف تحت أرضية، مما يتسبب في تدمير المنشآت والبنى التحتية مثل المباني والطرق.
٥- قد تغمر أمواج البحر الزلزالية أو موجات المد (تسونامي) الناجمة من الزلازل مناطق ساحلية واسعة.
٦- قد تسبب الزلازل اندلاع الحرائق بسبب تدمير مرافق الكهرباء والغاز.

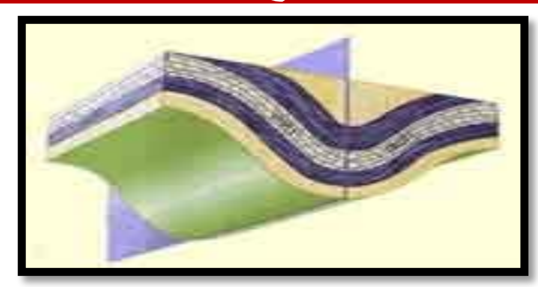
هناك عدة فوائد للزلازل:

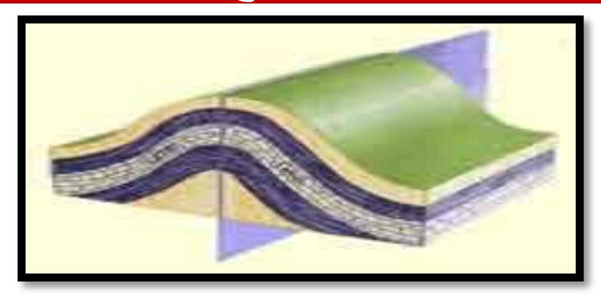
١ - إن كثره الزلازل من اشراط الساعة الصغرى والتي ظهرت بديتها ولا تزال تتابع وتكثر حوتي تستحكم.

٢-التبنية إلى وقت تكاثر الزلازل ومدي ارتباطه بتفش العاصي وظهور المنكرات من قبض العلم وتقارب الزمان وظهور الفتن وكثرة القتل.. " ثم الق نظرة حولك " وارجع البصر كرتين حتي تشمل به الزمان والمكان والعالم الذي وجدت فيه .. وما يجري فيه من حوادث ويدب فيه من خلائق ..

٣- إن المراد بكثرة الزلازل هو أن يتوافر فيها صفتان : الشمول والاستمرار والدوام .. والمراد بالشمول ، أي جميع ارجاء الارض .. والمراد بالدوام ، تقارب ما بين الزلازل بحيث تكون علي مدار العام .. وقد اخبرنا الصادق الامين الذي لا ينطق عن الهوي بكثرة الزلازل في اخر الزمان .. بحيث تصير سمة من سمات السنين والايام حتي تسمي هذه الاوقات بسنوات الزلازل .. ان زلازل الدنيا ما هي الا عظة من الله سبحانه وتعالي .. وهزة للقلوب الغافلة عن طاعة الله .. ودعوة للامر بالمعروف والنهي عن النمكر ، وعدم الركون للحياه الفانيه والاستعداد للحياة الباقية .. لكي يتدبر ويستعد الإنسان ليوم القيامة .. فان ما نراه من آثار الزلازل الأرضية وما يصيب الإنسان من هلع ورعب وخوف وهلاك ودمار فانه لايعتبر شئ يذكر لما يراه من زلزله يوم القيامة . قال تعالي " يا أيها الناس اتقوا ربكم إن زلزله الساعة شئ عظيم " الحج ١.

الفصل التاسع: تشوه الصخور: الطيات والصدوع





توصل علماء القرنين عشر والتاسع عشر، والذين أرسوا دعائم علم الجيولوجيا بمفهومه الحديث، إلي أن معظم الصخور الرسوبية قد ترسبت أصلا كطبقات أفقية لينة فوق قاع البحر ثم تصلدت مع الزمن. ولكن كان العلماء مندهشين من وجود كثير من الطبقات المائلة والمطوية أو المتصدعة، كما كانوا مندهشين أيضا من القوى التي سببت تشوه هذه الصخور الصلدة بتلك الطريقة.





صخور رسوبية في سلطنة عمان.

فهل يمكن إعادة بناء التاريخ الجيولوجي في منطقة ما من أنماط تشوه الصخور التي نشاهدها في الحقل؟ وكيف تتشوه أنواع الصخور المختلفة، وما العلاقة بين التشوه وتكتونية الألواح؟، حيث أثبتت المشاهدات الحقلية أن أنماط تشوه الصخور متشابهة في جميع أنحاء الأرض.

وللإجابة عن التساؤلات السابقة، فإن هناك بعض الأسس والمفاهيم التي تفسر تشوه الصخور. ويعرف العلم الذي يهتم بدراسة تراكيب القشرة الأرضية وشكلها وتوزيعها، والعوامل التي سببتها **بالجيولوجيا التركيبية structural geology**. وهذا الفرع من علوم الجيولوجيا قريب من علم الجيولوجيا البنائية (البنائيات) tectonics، الذي يهتم بدراسة المعالم التركيبية الكبرى للجزء الخارجي من الأرض وأسبابها، أي التراكيب الأكثر اتساعا وامتدادا من تلك التي يتعامل معها فرع الجيولوجيا التركيبية.

وتعتبر عمليات الطي folding والتصدع faulthing من أكثر أشكال التشوه شيوعاً في الصخور الرسوبية والمتحولة والنارية، وهى الصخور المكونة للقشرة الأرضية، (سواءً كانت رسوبية أو بركانية) والصخور المتحولة عنها. وتشبه الصخور عندما تطوي قطعة قماش، وعندما تضغط من طرفيها، حيث تتحدب لأعلى على هيئة طيات folds.

أما الصدوع faults فإنها تنشأ عن قوى تكتونية تؤدي إلي كسر الجسم الصخري وانزلاق أحد جانبية بالنسبة للآخر في حركة موازية لسطح الكسر. وتتراوح أبعاد الطيات والصدوع بين عدة سنتيمترات وعشرات الكيلومترات. وبتكون عديد من سلاسل الجبال من سلاسل متصلة من الطيات الكبيرة أو الصدوع أو كليهما، والتي تم تجويتها وتعريتها. ويعتقد الجيولوجيون الآن أن القوى التي تحرك ألواح القشرة الأرضية الكبيرة هى المسئولة أساساً عن التشوهات الموجودة في معظم المناطق، حتى المحلية منها.

- كيف تتشوه الصخور؟

لكي نناقش تشوه الصخور، فإنه من المفيد أن نستعرض بعض الخصائص الأولية للمواد الصلبة:

١ – الإجهاد والانفعال:

يفصل الجيولوجيون استخدام مصطلح إجهاد stress بدلا من مصطلح ضغط pressure عند مناقشة تشوه الصخور. ويصف مصطلح إجهاد حابس confining stress الوضع عندما يكون الإجهاد متساوياً في كل الاتجاهات، مثل: الضغط على جسم صغير مغمور في سائل أو غاز، أو الضغط الذي يشعر به الشخص فوق كل جسمه عندما يغوص بعمق تحت سطح الماء. وعلى العكس من ذلك، فإن الإجهاد التفاضلي differential stress والذي يكون غير متساو في كل الاتجاهات، هو الذي يسبب تشوه الصخور.

وللإجهاد الفاضلي ثلاثة أنواع، هي:

إجهاد الشد tensional stress **:** وهو الذي يعمل على شد الصخور، وبالتالي جذب مكونات الصخر بعيدا عن بعضها البعض . يتكون عندما تتحرك الالواح التكتونية بعيدا عن بعضها البعض عند الحدود المتباعدة.

<u>وإجهاد تضاغطي</u> compressive stress: وهو إجهاد يدفع بمكونات الصخور نحو بعضها البعض. يتكون عندما تتصادم الالواح التكتونية على الحدود المتقاربة .

<u>إجهاد القص</u> (البتر) shear stress **:**على دفع كل جانبين متقابلين من الجسم ليسا على خط واحد ولكنهما في المستوى نفسه في اتجاهين متعاكسين . يتكون عندما تنزل الالواح التكتونية افقيا بمحاذاة بعضها البعض .

وتتولد القوى نفسها في الأنواع الثلاثة من الحدود بين اللواح، فإجهادات التضاغط تسود عند الحدود المتقاربة عندما تتصادم الألواح، وتسود إجهادات الشد عند الحدود المتباعدة عندما تتحرك الألواح بعيداً عن بعضها البعض، وتسود إجهادات القص عند الصدوع الناقلة عند حدود الألواح عندما تنزلق الألواح أفقيا بمحاذاة بعضها البعض.

ويستخدم مصطلح انفعال لوصف تشوه الصخور نتيجة للإجهاد. ويمكن تعريف الانفعال strain بأنه تغيير في حجم أو شكل جسم صلب أو في كليهما معا نتيجة.للإجهاد. ويسبب الإجهاد الحابس تغييراً في حجم الجسم الصلب، بينما يبقى الشكل ثابتاً. أما الإجهاد التفاضلي فإنه يؤدي إلي تغيير شكل الجسم الصلب، وقد يسبب أو لا يسبب تغييراً في الحجم.

<u>٢ – التشوه المرن :</u>

يعرف التشوه المرن elastic deformation بأنه تغيير معكوس أو غير دائم في حجم أو شكل الضخر الذي تعرض للإجهاد. وعندما يزول الإجهاد، فإن الصخر يعود إلي حجمه وشكله الأصلي. ويمكن لمادة ما أن تتحمل أي جهد حتى حد معين، يسمى حد المرونةelastic limit، وهو الحد القصى للإجهاد الذي يتعرض بعده الجسم الصلب للتشوه الدائم ولا يعود إلي حجمه أو شكله الصلي مرة ثانية عندما يزول الإجهاد.

<u>٣ – التشوه اللدن :</u>

يعرف التشوه اللدن ductile deformation بأنه تغيير دائم في الشكل أو في الحجم أو في كليهما في صخر تعرض لإجهاد تعدي حد المرونة.

<u>٤ – التكسر :</u>

يحدث التكسر fracture في الجسم الصلب عندما يتجاوز الإجهاد حدود كل من التشوه المرن واللدن.

- **<u>المواد اللدنة والمواد القصفة (سريعة الكسر) :</u>**

تصنف المواد عموما إلي قصفة ولدنة. وتميل المواد القصفة brittle substances (سريعة التكسر) إلي التشوه بتكوين كسور، بينما تتشوه المواد اللدنة ductile substances بتغيير شكلها. ولكي نفهم التشوه في الصخور، فمن الضروري مناقشة العوامل الأساسية التي تتحكم في الخصائص الميكانيكية للصخور، وهى: الحرارة، والإجهاد الحابس والزمن، ومعدل الانفعال، والتركيب.

ونعرض فيما يلي وصفا لكل من هذه العوامل:

١ – الحرارة :

كلما ارتفعت درجة الحرارة، اصبحت المادة الصلبة أكثر لدونة وأقل تقصفا. فمثلا يصعب ثني قضيب من الزجاج عند درجة حرارة الغرفة، وإذا حاولنا ثنيه بشدة، فإنه هذا القضيب يصبح لدنا ويسهل ثنيه إذا سخن حتى درجة الاحمرار. وتشبه الصخور قضيب الزجاج، حيث تنكسر عند سطح الرض، بينما تصبح لدنة في الأعماق بسبب تدرج حرارة الرض geothermal gradient، وهو معدل الزيادة في درجة حرارة الأرض مع العمق.

٢ – الإجهاد الحابس :

الإجهاد (الضغط) الحابس confining stress هو ضغط منتظم يؤثر على الصخور من جميع الجهات نتيجة وزن كل الطبقات التي تعلو هذه الصخور. ويعوق الإجهاد الحابس العالي تكون الكسور، ولذلك فهو يقلل من صفات التقصف. فعند الإجهاد الحابس العالي يصبح من السهل على المادة الصلبة أن تتشوه دون أن تنكسر.

٣ – الزمن ومعدل الانفعال :

يلعب الزمن دوراً مهماً في تشوه الصخور، إلا أنه لا يسهل رصد هذا الدور بسهولة. فعند تعرض مادة صلبة للإجهاد، فإن هذا الإجهاد ينتقل عبر كل الذرات المكونة للمادة الصلبة، وعندما يزيد الإجهاد عن قوة الروابط بين الذرات، فإن الذرات إما أن تنتقل إلي مكان آخر داخل البناء البلوري لكي تخفف من الإجهاد، وإما تنكسر الروابط، مما يعني حدوث كسر. وحيث إن الذرات لا يستطيع الانتقال بسرعة في المواد الصلبة، فإذا كان الإجهاد بطيئاً وتدريجياً، واستمر لفترة زمنية طويلة، فإن الوقت يكون كافياً لتحرك الذرات، حيث تستطيع المادة الصلبة أن تغير من شكلها ويحدث ما يعرف بالتشوه اللدن.

٤ – التركيب :

لتركيب الصخر تأثير كبير على خصائصه، حيث تؤثر بعض أنواع المعادن بقوة على صفات الصخر. فبعض المعادن مثل الكوارتز والجارنت والوليفين تكون شديدة التقصف، بينما يكون البعض الآخر مثل: الميكا والصلصال والكالسيت والجبس لدنا. ومن جهة أخرى، فإن الماء الموجود في الصخر يقلل من صفات التقصف، بينما يزيد من صفات اللدونة في الصخر، حيث يضعف الماء الروابط الكيميائية في المعادن، كما يكون الماء طبقة رقيقة جدا حول حبيبات المعدن، تقلل من الاحتكاك بين الحبيبات. ولذلك تميل الصخور المشبعة بالماء لأن تتشوه تشوها لدنا أكثر من الصخور الجافة.

ومن الصخور التي تتشوه تشوها لدنا الحجر الجيري والرخام والطفل والإردواز والفيليت والشست، بينما تميل صخور الحجر الرملي والكوارتزيت والجرانيت والجرانوديوريت والنيس لأن تتشوه بالكسر غالبا.

- **<u>صفات التقصف واللدونة في الغلاف الصخري:</u>**

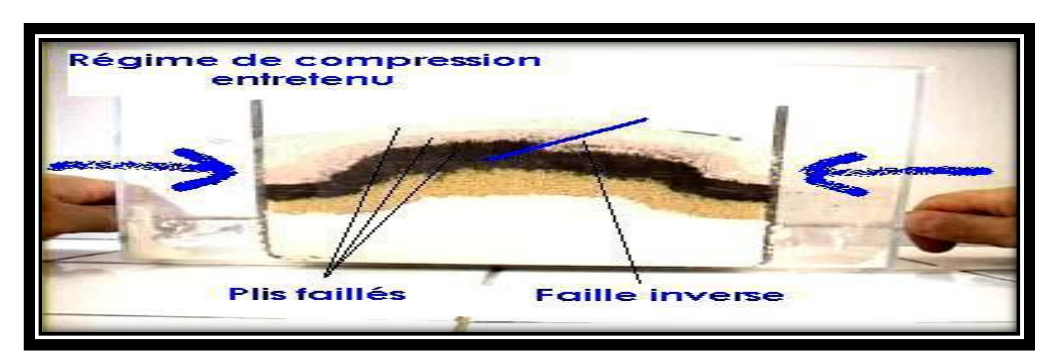
<u>تعرف شدة الصخر</u> rock strength بأنها أقصى إجهاد يتحمله الجسم الصلب، دون أن يتمزق أو يتكسر. ويلاحظ تزايد شدة الصخر مع العمق باطراد حتى تصل إلي ذروتين . ويرجع السبب في ذلك، إلي أن شدة الصخر تعتمد على تركيب الصخر ودرجة الحرارة والضغط.

وتتميز صخور القشرة الأرضية القارية بأنها غنية بمعدن الكوارتز، ولذلك تحدد شدة الكوارتز صفات الشدة في صخور القشرة الأرضية. وتزداد شدة الصخر باطراد حتى عمق نحو ١٥كم، حيث تكون الصخور قوية فوق ذلك العمق، وتتكسر وتتشوه بالتقصف. وتصبح الكسور أقل شيوعا تحت عمق ١٥كم حيث يزيد الإجهاد الحابس، وتصبح الصخور أكثر لدونة. ويعرف العمق الذي تبدأ عنده صفات اللدونة في السيادة على صفات التكسر بانتقالية التقصف – اللدونة brittle – ductile transition.

وتتميز صخور الوشاح بغياب معدن الكوارتز، بينما تكون غنية بمعدن الأوليفين. ومعدن الأوليفين أقوى من معدن الكوارتز، لذلك لا تصل انتقالية التقصف – اللدونة في الصخر الغني بالأوليفين إلا عند عمق نحو ٤٠كم. لذلك توجد ذروة ثانية لشدة الصخر عند هذا العمق . وتقل شدة الصخر مرة أخرى تحت انتقالية التقصف – اللدونة في االوشاح. وكما هو معروف.. فإن قوة الصخر تكون صغيرة جدا عند درجة حرارة نحو ١٣٠٠م، ولذلك يكون التشوه غير ممكن عن طريق التقصف. ويحدد اختفاء كل صفات التشوه بالتقصف، الحد بين الغلاف الصخري والغلاف اللدن (الأسثينوسفير).

<u>أولا: الطيات:</u>

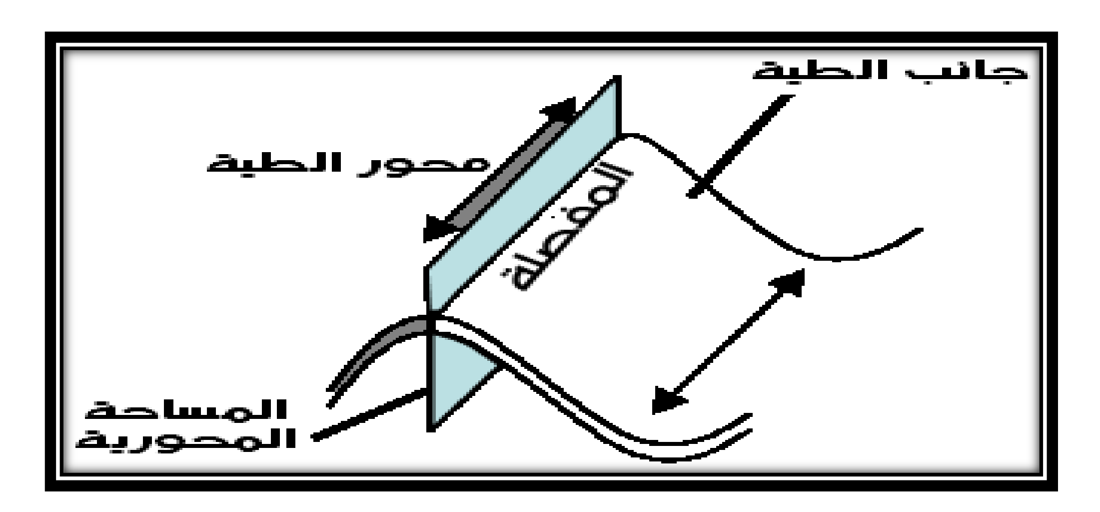
تمثل الطيات والكسور أدلة على تشوه الصخور. حيث يقوم الجيولوجيون بإعداد خرائط لها في الحقل. وتؤدي دراسة مثل هذه التراكيب إلي الوصول إلي نظرة شاملة عن القوى التي نشأت من تكتونية الألواح. ويعني مصطلح طية FOLD أن صخوراً كانت في الأصل أفقية قد تعرضت للطي لاحقاً. وقد ينتج التشوه إما عن قوى أفقية أو رأسية في الأرض، مثلما ندفع قطعة من الورق في اتجاهين متقابلين أو من أسفل إلي أعلى فيحدث الطي. والطي شكل شائع للتشوه يمكن ملاحظته في كل أنواع الصخور وخاصة المتطبقة منها، وهو يوجد بصورة نموذجية في أحزمة الجبال. وتكون الطيات ضخمة في سلاسل الجبال الحديثة والتي يتم تجويتها بالتعرية حيث يبلغ طول بعضها عدة كيلومترات. كما قد تكون بعض الطيات في حدود عدة سنتيمترات. وقد تطوى الطبقات بلطف أو بعنف، تبعا لشدة القوى السائدة وقت التشوه والفترة الزمنية التي تعرضت فيها الصخور للتشوه وقابلية الطبقات لمقاومة التشوه.

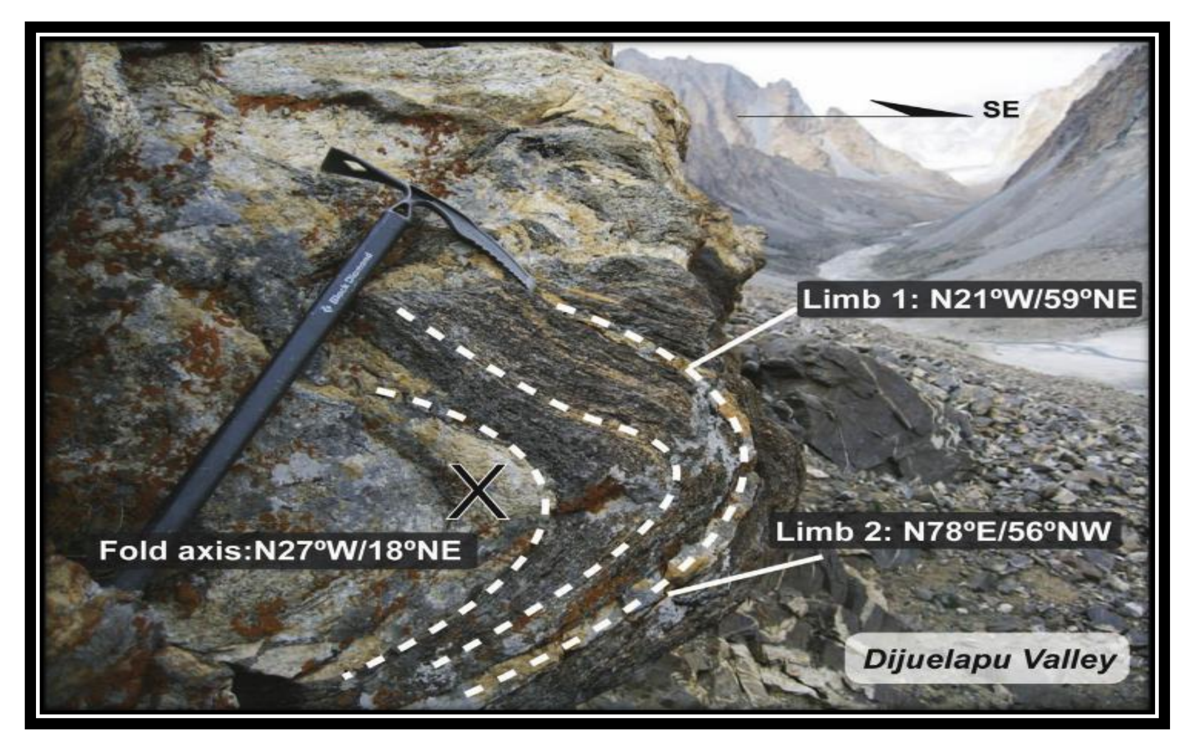


القوى المسؤولة عن حدوث الطيات.

أجزاء الطية الرئيسية:

١. **محور الطية Fold Axis:** هو الخط الواقع على قمة سطح الطبقة المطوية والذي يصل بين النقاط التي يبلغ عندها انحناء سطح الطبقة أقصاه. ويسمى محور الطية كذلك خط المفصل.
٢. **جناحا الطية Fold Limb:** هما الطبقتان اللتان تشكلان جانبي الطية وتلتقيان عند محور الطية.
٣. **المستوى المحوري Axial Plane:** هو المستوى الذي ينصف الزاوية بين جناحي الطية.



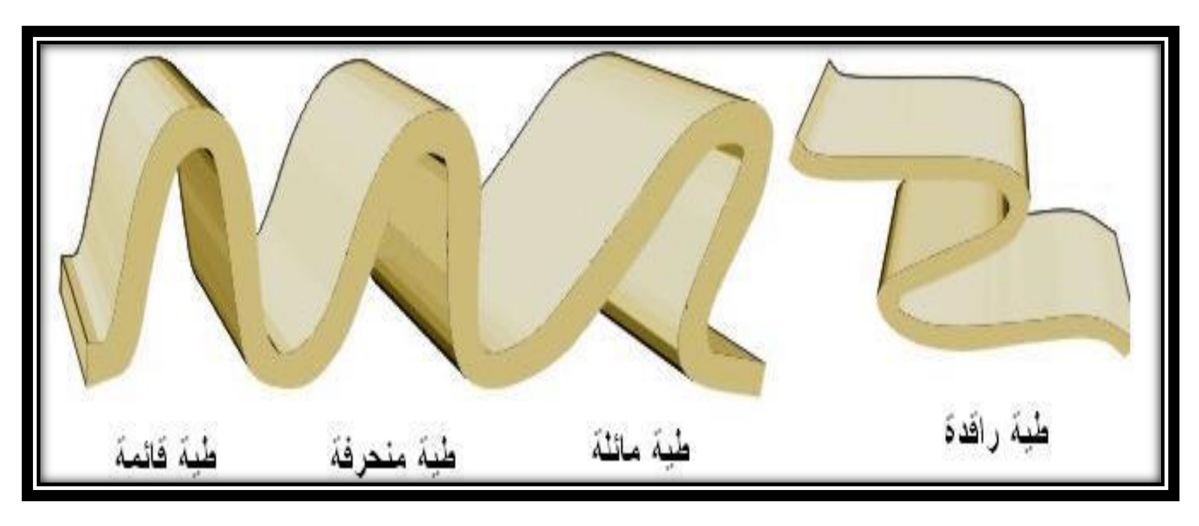


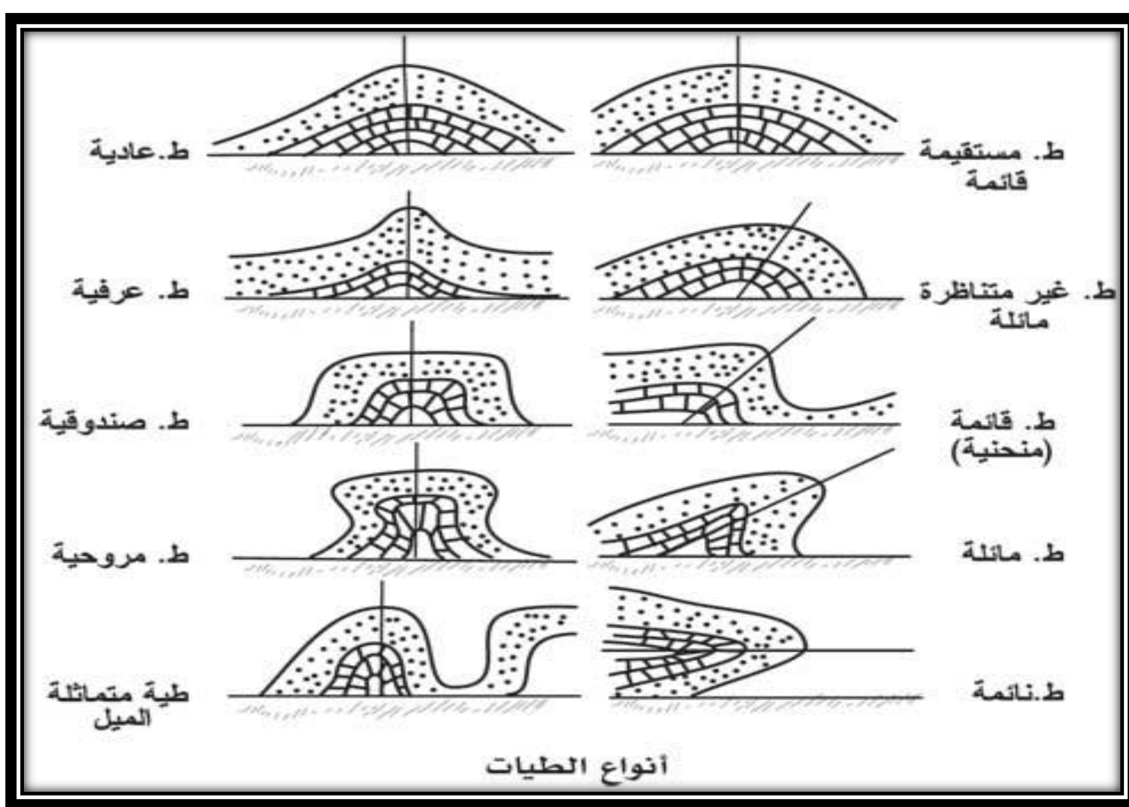
أ- أنواع الطيات :

إن أبسط أنواع الطيات ما يسمى **بالطية أحادية الميل monocline** حيث تميل بعض الطبقات الأفقية أو المائلة بزاوية صغيرة في اتجاه واحد، وبزاوية أكبر من زاوية الميل السائدة. ويمكن تخيل الطية

أحادية الميل بسهولة، إذا وضعنا كتابا على منضدة ثم وضعنا منديلا فوق أحد جوانب هذا الكتاب بحيث يتدلى بقية المنديل على المنضدة، فإن ثنية المنديل تعطي الكتاب كل طية أحادية الميل. إلا أن معظم الطيات تكون أكثر تعقيدا من هذا النموذج. فالطي إلي أعلى على هيئة قوس يسمى **تحدبا (طية محدبة) anticline**، بينما يسمى الطي لأسفل على هيئة زورق تقعرا (**طية مقعرة) syncline** . وعادة ما تتلازم التحديات والتقعرات. وتسمى الطبقات المكونة لجانبي الطية بالطرفين limbs، بينما يطلق على المستوى التخيلي الذي يقسم الطية إلي نصفين متماثلين تقريبا بالمستوى المحوري axial plane. ويسمى الخط الناتج عن تقاطع المستوى المحوري مع الطبقات بمحور الطية fold.

<u>هناك أنواع كثيرة من الطيات أهما ما يلي :</u>



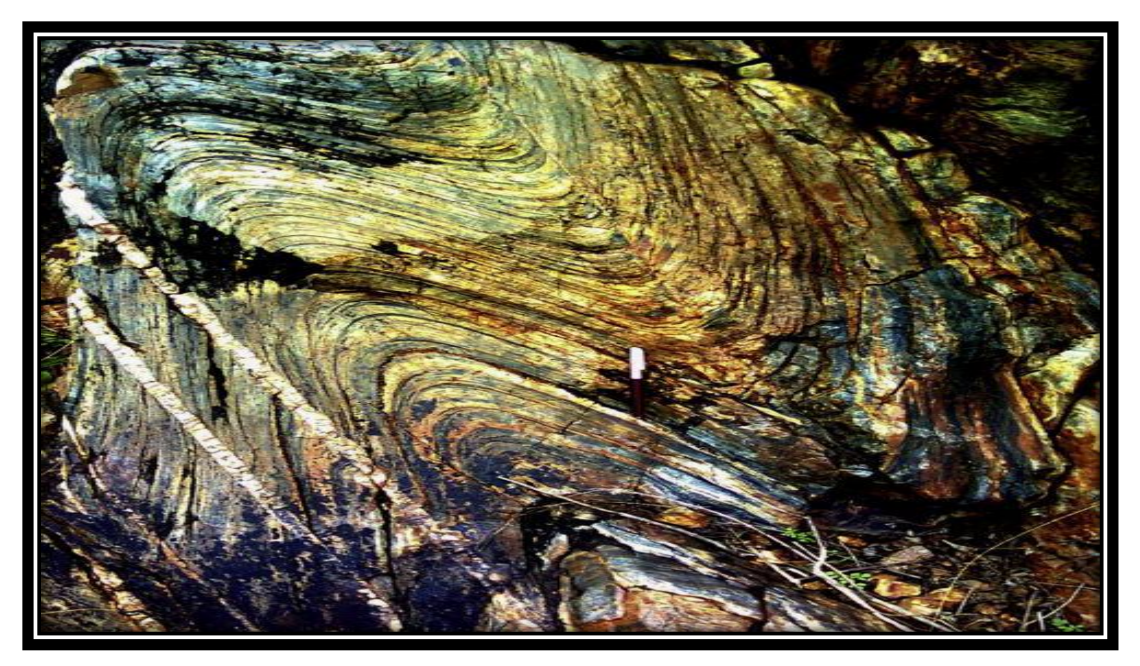


أنواع الطيات

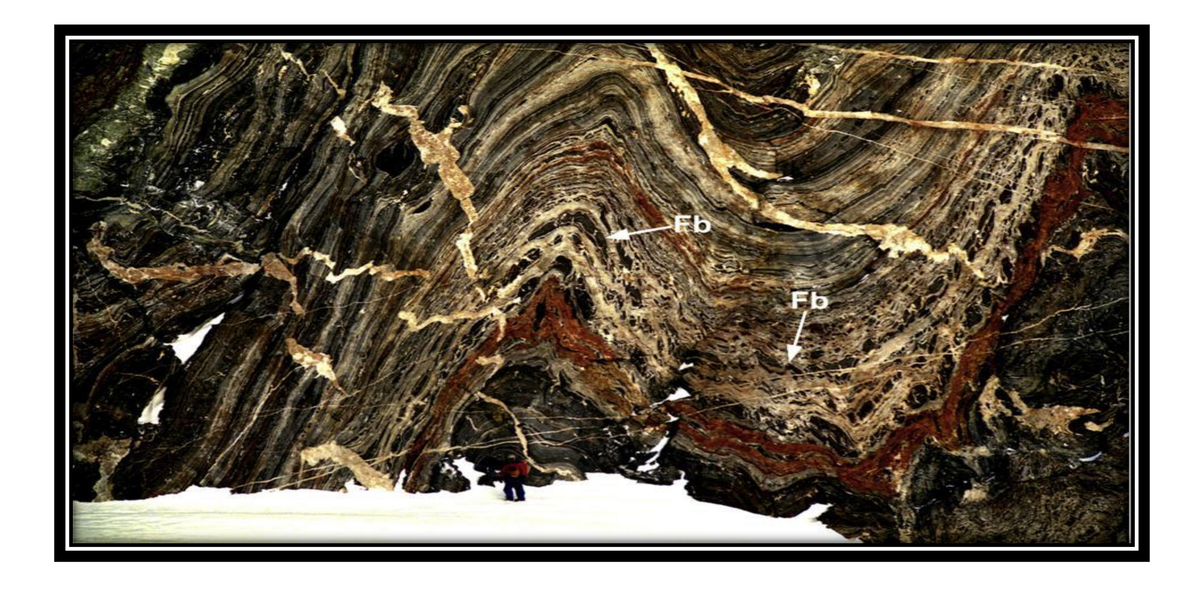
تصنيف الطيات:

على أساس اتجاه الجناحين:

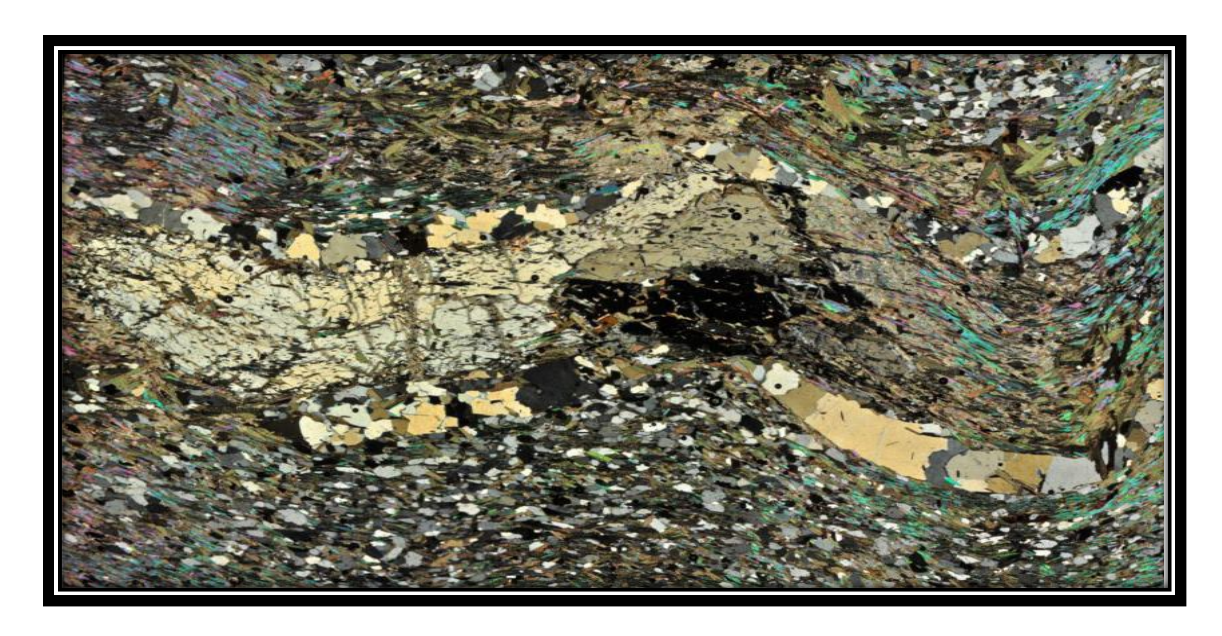
- **طية محدبة Anticline:** وفيها يتقارب جناحا الطية نحو الأعلى، أي أن الجناحين يميلان بعيدا عن المستوى المحوري للطية، وينتج بتأثير قوى الشد.
- **طية مقعرة Syncline:** وفيها يتقارب جناحا الطية نحو الأسفل أي أن الجناحين يميلان نحو المستوى المحوري للطية، وتنتج بتأثير قوى الضغط.



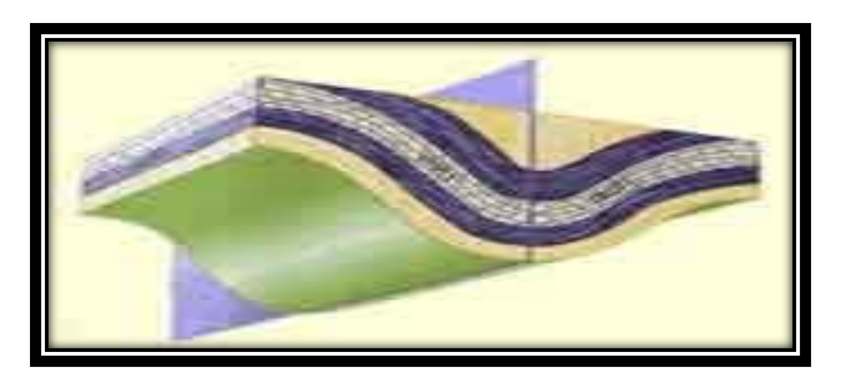
طية محدبة



The boudins of dark-colored amphibolite (Fb) in light-colored biotite-hornblende gneiss.



Microfolded porphyroblast of cordierite (in the center of the photo) in gneiss





طية مقعرة

على أساس مقدار ميل الجناحين:

- **طية متماثلة Symmetrical Fold:** وتنشأ عندما يميل جناحا الطية (المحدبة والمقعرة) بزاوية ميل متساوية في الاتجاهين ويكون المستوى المحوري لكل منهما رأسيا وتتكون عادة مثل هذه الطيات عندما تتعرض الطبقات لضغط متساو من الجانبين.
- **طية غير متماثلة Asymmetrical fold:** وتنشأ عندما يميل كل جناح من جناحي الطية (المحدبة والمقعرة) بزاوية ميل تختلف عن الأخرى، وبذلك يصبح المستوى المحوري للطية مائلا عن المستوى الرأسي. وتتكون هذه الطية عندما يكون الضغط من أحد الجانبين أكثر من الآخر فيكون ميل أحد الجناحين أكبر من ميل الآخر.





Asymmetric folds with stretched quartz boudins in the metasedimentary rock.

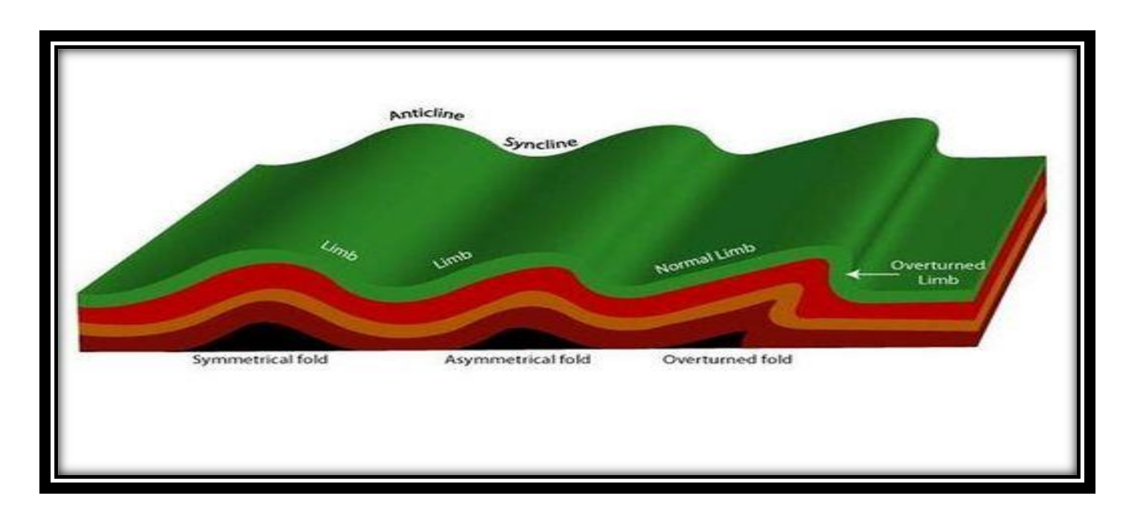
- **طية مضطجعة (نائمة) Recumbent Fold:** وتنشأ عندما يصبح جناحا الطية في وضع أفقي تقريبا نتيجة الضغط المتزايد ويكون المستوى المحوري لهذه الطية أفقيا حيث تصبح الطبقات القديمة فوق الطبقات الأحدث منها.

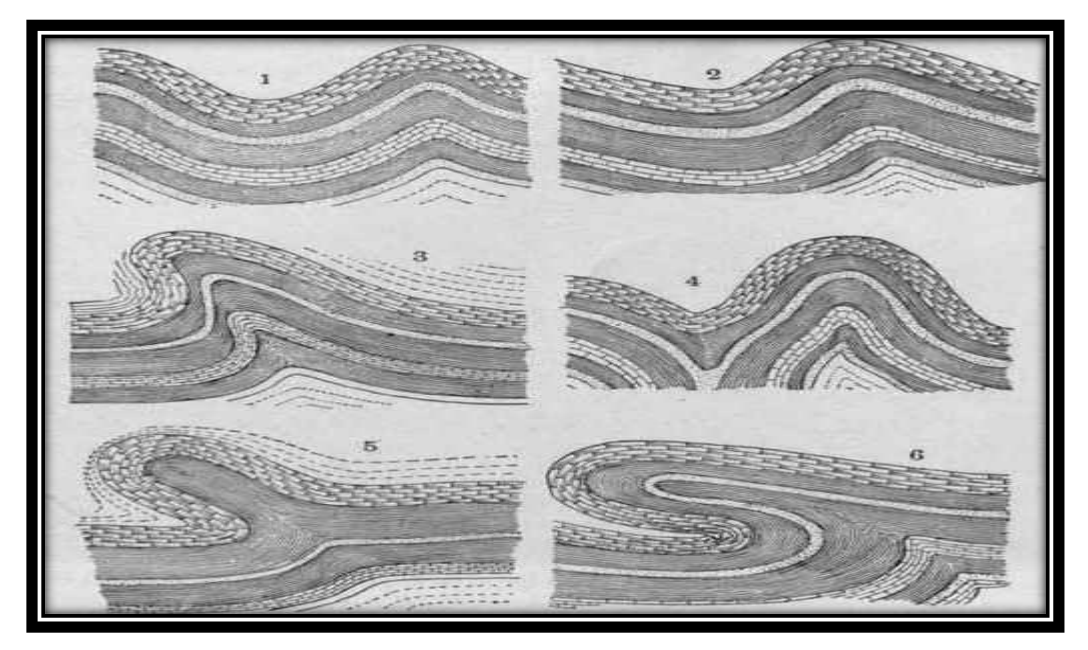


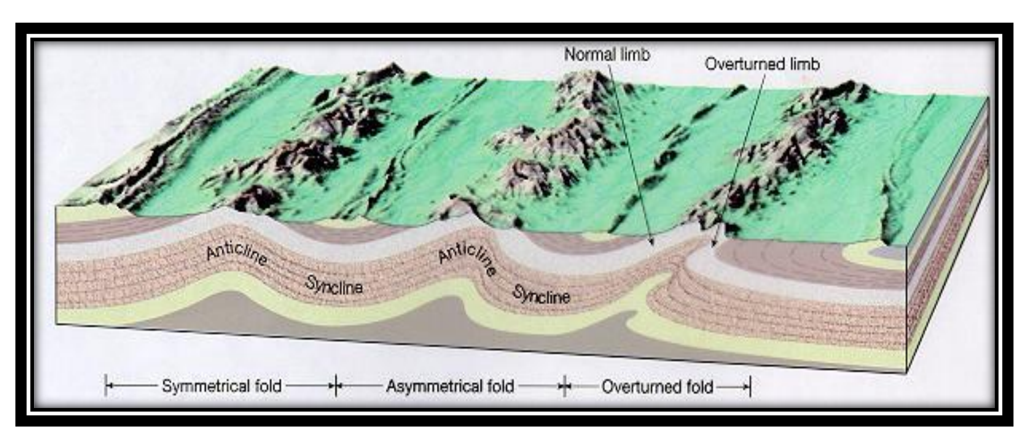


Recumbent fold plunging towards E in hornblende gneiss.

- **طية مقلوبة Overturned Fold:** هي تلك التي يزيد فيها مقدار عدم التماثل حتى يزيد الميل في أحد جناحيها على ٩٠°، وفي هذه الحالة يكون المستوى المحوري مائلا عن المستوى الرأسي بدرجة كبيرة وتكون الطبقات المكونة لأحد الجناحين مقلوبة.

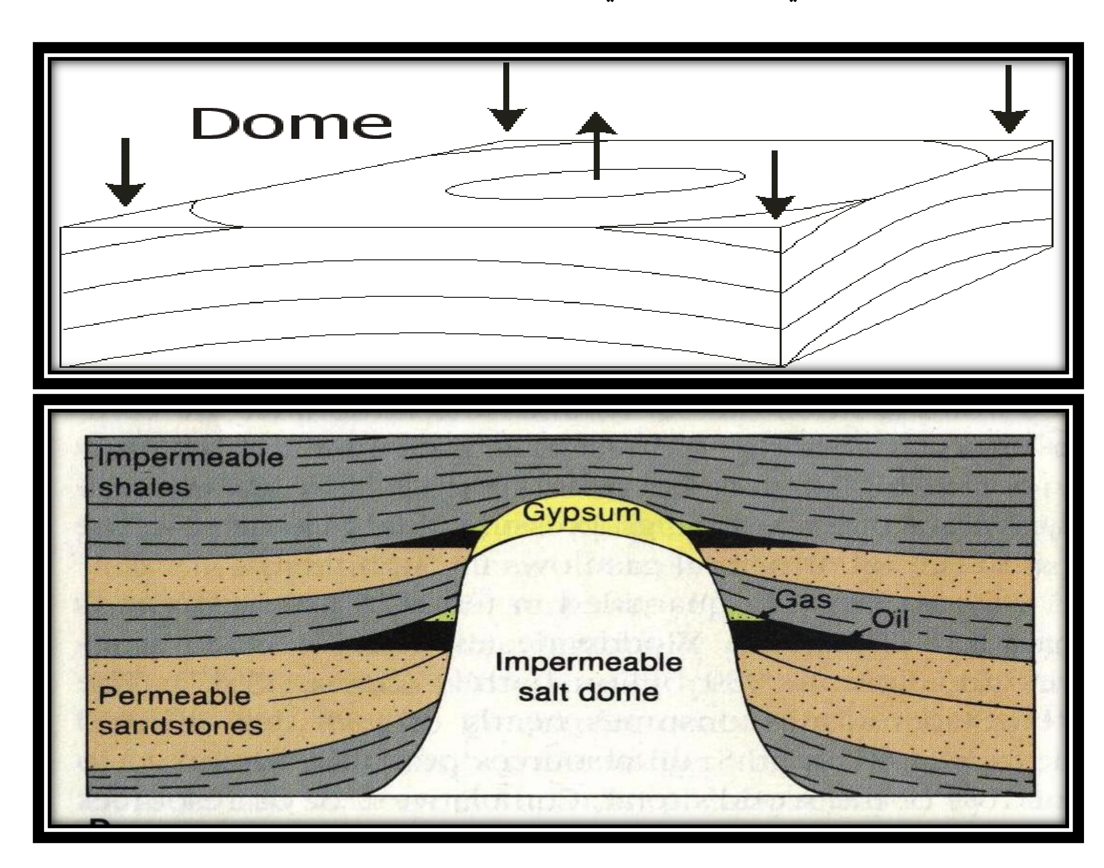




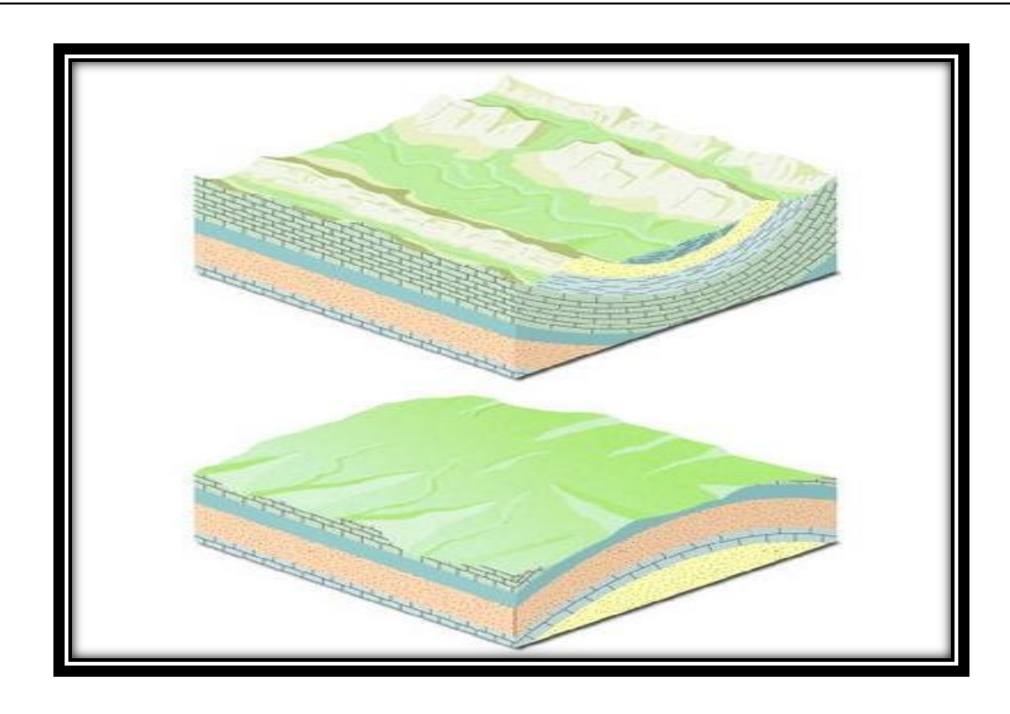




قبة Dome: وهذا التركيب تميل فيه الطبقات من جميع الإتجاهات بعيدا عن نقطة متوسطة تسمى مركز القبة. نوع من الطيات المحدبة لها مقطع دائري أو إهليليجي تميل فيها الطبقات بقدر متساو من نقطة معينة مركزية إلي الخارج في جميع الاتجاهات. ويغزي تكون بعض القباب إلي الصخور النارية التي تتداخل في القشرة لتدفع الرسوبيات التي تعلوها إلي أعلى. وتتكون بعض الأحواض عندما يبرد جزء ساخن من القشرة الأرضية وينكمش، مما يؤدي إلي هبوط الرسوبيات التي تعلوها. ويتكون البعض الآخر عندما تسبب بعض القوى التكتونية استطالة ومط القشرة الرضية، كما يؤدي وزن الصخور الرسويية المترسبة في بحر ضحل إلي تقعر القشرة الأرضية.



*__الحوض__ **Basin:** وهي الطية التي تميل فيها الطبقات إلى الداخل في جميع الإتجاهات نحو نقطة متوسطة تسمى مركز الحوض، وهي عكس القبة.



وقد تكون الطية مفتوحة open fold إذا كانت الزاوية بين جناحيها أكثر من ٩٠. وكلما زادت شدة الإجهاد التضاعطي، كان جناحا الطية أكثر ميلا. وعندما يكون الإجهاد شديدا، تكون الطية أكثر إحكاما ويصبح جناحاها موازيين لبعضهما البعض، وتوصف هذه الطية بأنها طية متفقة الميل isoclinal fold . ويسبب الإجهاد الشديد أيضاً إما أن تصبح الطية غير متماثلة asymmetrical، حيث يميل جناحاها في الاتجاه نفسه. وفي النهاية، فإن الطية المقلوبة overturned fold يمكن أن تصبح طية مضطجعة recumbent fold حيث يكون جناحاها في وضع أفقي أو قريب من ذلك . ويكثر وجود الطية المضطجعة في مناطق التصادمات القارية، مثل جبال اللب والهيمالايا. وفي حالة الطيات المقلوبة والطيات المضطجعة، فإنه من الضروري معرفة الوضع الصحيح للطبقات، وأي الطبقات هى المقلوبة. علما بأن هذا ليس ميسورا دائما، وخصوصا إذا أزيلت أجزاء من الطيات بالتعرية. وتساعد أحيانا التراكيب الرسوبية، مثل: الشقوق الطينية والطبقات المتدرجة graded layers في تحديد الوضع الأصلي للطبقات.

محور الطية قد يكون أفقيا وقد يكون مائلا ، وأما إذا كان محور الطية مائلا على المستوى الأفقي، فتسمى الطية غاطسة plunging fold . وتسمى الزاوية بين محور االطية والفقي بغطس الطية plunge. وقد يميل محور الطية في اتجاهين، وتعرف الطية حينئذ بالطية مزدوجة الغطس double plunging fold.

ب – الاستنتاجات من طي الصخور :

من الصعب تعرف بعض الطيات بسبب تأثير عوامل التعرية. بينما يمكن في بعض الحالات التعرف على التحدب تم تعريته من وجود طبقات أقدم في لب الطية يحيط بها من الجانبين صخور أحدث عمرا تميل إلي الخارج . أما التقعر الذي تم تعريته، فتكون الطبقات الأحدث عمرا في لب الطية المقعرة تحيط به من الجانبين صخور أقدم عمرا (حديم)، وتميل إلي الداخل .

ويؤدي الاختلاف في درجة تعرية الطبقات المطوية إلي تكون أشكال طوبوغرافية مميزة تدل على وجود الطيات، فقد يتكون وادي في وسط طية مقعرة أو حيد مرتفع عند قمة طية محدبة. ومع ذلك، فإنه من المهم معرفة أنه ليس من الضروري أن تكون كل التحديات أعرافا ridges أو تلالا، أو أن تكون كل التقعرات وديانا. وتوجد الطيات في مجموعات مستطيلة عادة. وتسمى المنطقة الطولية التي تعرضت للطي وغيره من مظاهر التشوه بحزام طي fold belt. ويستدل من أحزمة الطي على أن صخور المنطقة قد ضغطت في وقت واحد بقوى تكتونية أفقية ، قد تكون نشأت من تصادم الألواح، مثل نظام القوس السوري Syrian arc system ، والذي يضم مجموعة من الطيات المستطيلة في شمال سيناء بمصر، وفي فلسطين وسوريا، وتأخذ اتجاه شمال شرق – جنوب غرب.

أهمية الطيات:

- يمكن تحديد عمر الطبقات النسبي من الطيات وذلك لقراءة تاريخ الأرض (لمعرفة الطبقات الأقدم والأحدث).
- تعتبر الطيات المحدبة من أهم التراكيب الجيولوجية المناسبة لتجمع النفط حيث يتجمع عادة في قمة الطية.
- للطيات المقعرة أهمية كبيرة في حركة وتجمع المياه الأرضية.
- تعد الطيات المقعرة أماكن تجمع هامة لبعض الرواسب المعدنية مثل رواسب الفوسفات.

ثانيا - التشوه بالكسر: الصدوع والفواصل:

تميل صخور القشرة الأرضية، خاصة تلك القريبة من السطح، لأن تكون قصفة. ونتيجة لذلك، فإن الصخور عند سطح الرض أو بالقرب منها تقطع بعدد لا نهائي من الكسور، تسمى فواصل أو صدوعاً. والفاصل joint هو نوع من الكسور لم تحدث أية حركة على امتداده. أما الصدوع fault فهو كسر حدثت حركة نسبية للصخور على جانبية موازية لسطح الكسر.

أ – الصدوع :

بينما تشير الطيات عادة إلي أن القوى التضاغطية كانت سبب تكوينها، فإن الصدوع تتكون نتيجة لأنواع القوى الثلاث: التضاغطيه compressive والشد tension والقص shear. وتكون هذه القوى شديدة، خاصة عند حدود الألواح. وعموما، فإن الصدوع من المعالم الشائعة في أحزمة الجبال، والتي تكون مصاحبة لتصادم الألواح، كما تشيع الصدوع أيضا في وديان الخسف، حيث تنفصل الألواح وتشد نتيجة تحركها في اتجاهات متضادة. وتظهر بعض الصدوع الناقلة مثل صدع سان أندرياس في كاليفورنيا، والذي يبلغ طوله نحو ١٠٠٠كم إزاحة أفقية، قد تصل إلي مئات الكيلو مترات نتيجة انزلاق اللوحين أفقيا بالنسبة لبعضهما البعض. وقد تكون القوى في القشرة الأرضية داخل الألواح قوية أيضا، ممايسبب تكون صدوع بعيداً عن حدود الألواح.

• الإزاحة النسبية :

إن معرفة مقدار الحركة التي حدثت على امتداد الصدع، وكذلك الجانب من الصدع الذي تحرك، تكون غير ممكنة عموما. وقد يمكن في حالة مثالية قياس مقدار الحركة أو الإزاحة إذا وجدنا مثلا حصاة واحدة من الكونجلومرات قد تم قطعها بواسطة الصدع، وأن النصفين تحركا لمسافة يمكن قياسها. وحتى في هذه الحالة، فإنه من غير الممكن تحديد أي كتلة بقيت وأي كتلة تحركت، أو أن كلا الكتلتين قد تحركتا.

وعند تصنيف حركات الصدع، فإنه يمكن تحديد الإزاحة النسبية relative displacement فقط، بمعنى أن جانبا واحدا من الصدع قد تحرك في اتجاه معين بالنسبة إلي الجانب الآخر..

• الحائط العلوي والحائط السفلي :

معظم الصدوع تكون مائلة، بمعنى أن لها ميلا dip. ويستخدم المصطلحان السابقان الميل والمضرب لوصف توجيه الصدوع. ولوصف الميل في الصدوع تسمى كتلة الصخر أعلى سطح الصدع المائل بالحائط العلوي hanging wall block، بينما تسمى كتلة الصخر أسفل سطح الصدع المائل بالحائط السفلي footwall block. ولا تستخدم هذه المصطلحات بالطبع في حالة الصدوع الرأسية، حيث إن الكتلتين اللتين يفصلهما الصدع الرأسي تقعان على جانبيه.

١ – تصنيف الصدوع:

الصـــدع كسر أو فاصل فى مجموعة من الصخور يصاحبه انزلاق أو حركة للصخور على جانب واحد منه على الأقل . بحيث تزاح الصخور فى ذلك الجانب بالنسبة لنظائرها فى جانب الآخر من الصدع . ويتراوح مقدار الإزاحة أو الحركة فى تكون الصدوع من بضعة سنتيمترات إلى مئات الأمتار وتحدث الحركة الناشئة من تكون الصدوع فجأة أحيانا وعلى فترات متلاحقة ، وأحيانا تحدث فى بطء شديد يحدث لا يشعر بها الإنسان . وتعتبر الحركات المفاجئة نتيجة تكون الصدوع من الأسباب الرئيسية فى حدوث الزلازل أما الحركات البطيئة فتكون عادة على نطاق واسع وتستغرق أزمانا طويلة وتعد من العوامل الهامة فى تكوين الصدوع الكبيرة وتشويه القشرة الأرضية .

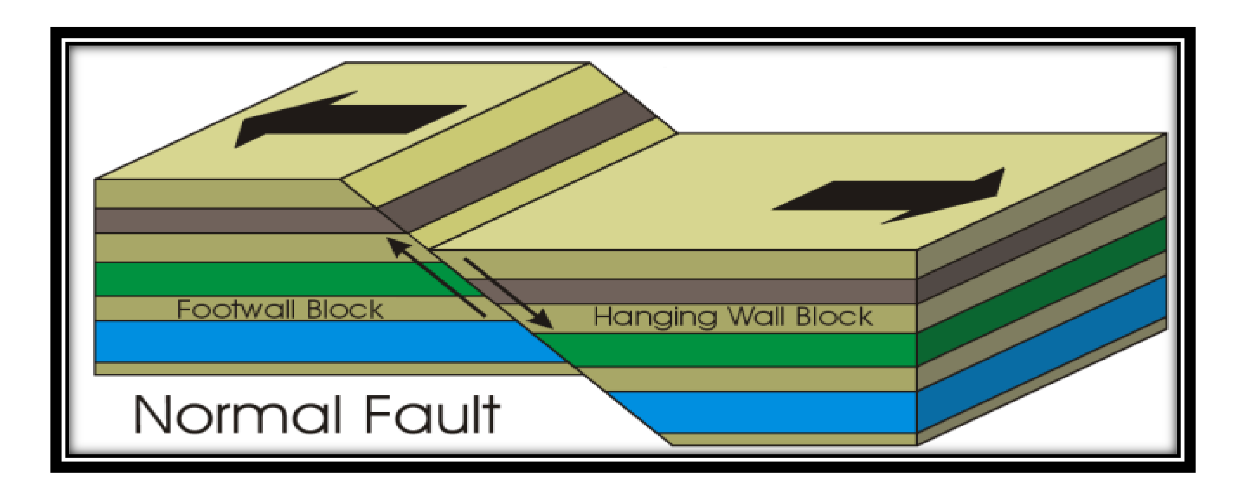
وتوجد الصدوع على أنواع كثيرة تتوقف على نوع الحركة المحدثة لها إذا ما كانت شداً أو ضغطا ، وعلى ع لاقة اتجاه الصدوع أو مضربة باتجاه الطبقات .



من أهم الأنواع ما يأتى :

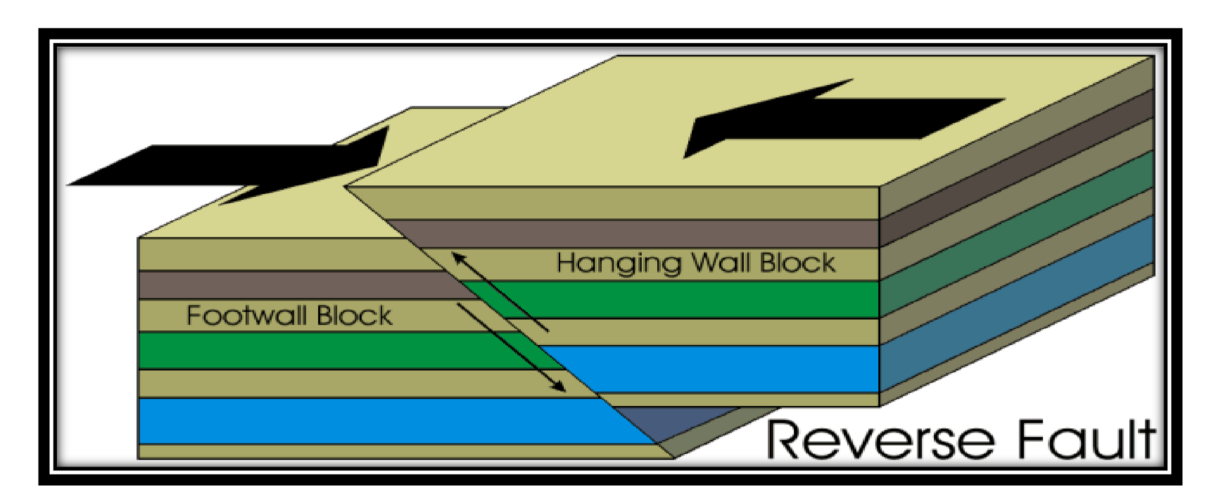
١ - الصدع العادى Normal Fault :

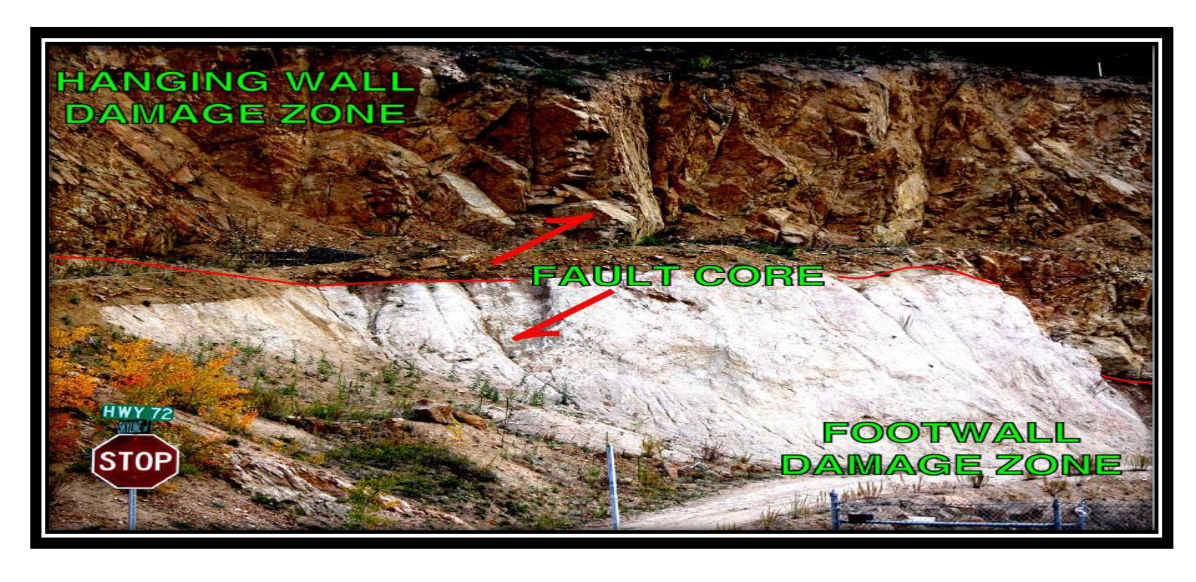
وتكون فيه الرميه فى اتجاه ميل الصدع . وهو ينتج من حركات الشد والانزلاق ، وينتج عنها ازدياد طول المسافة الأفقية التى كانت تغطيها الطبقات أصلا . وتنشأ هذه الزيادة من أن الحائط العلوى ينزلق إلى أسفل بالنسبة للحائط السفلى .



٢- الصدع المعكوس Reverse or Thrust fault :

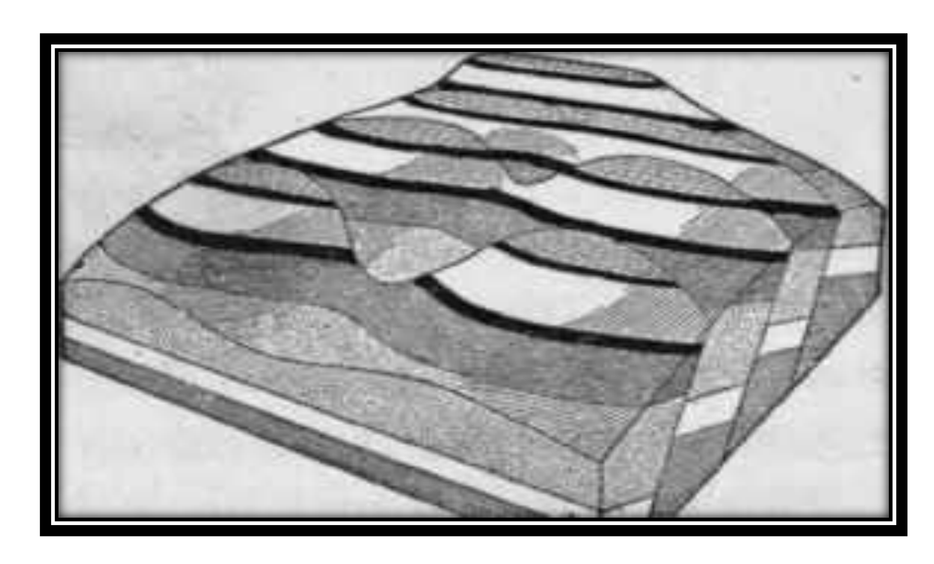
تكون الرمية فى اتجاه مضاد لميل الصدع وهو ينتج من الحركات الضغط الجانبى . وفى هذا النوع من الصدوع يتحرك الحائط العلوى إلى أعلى بالنسبة للحائط السفلى .





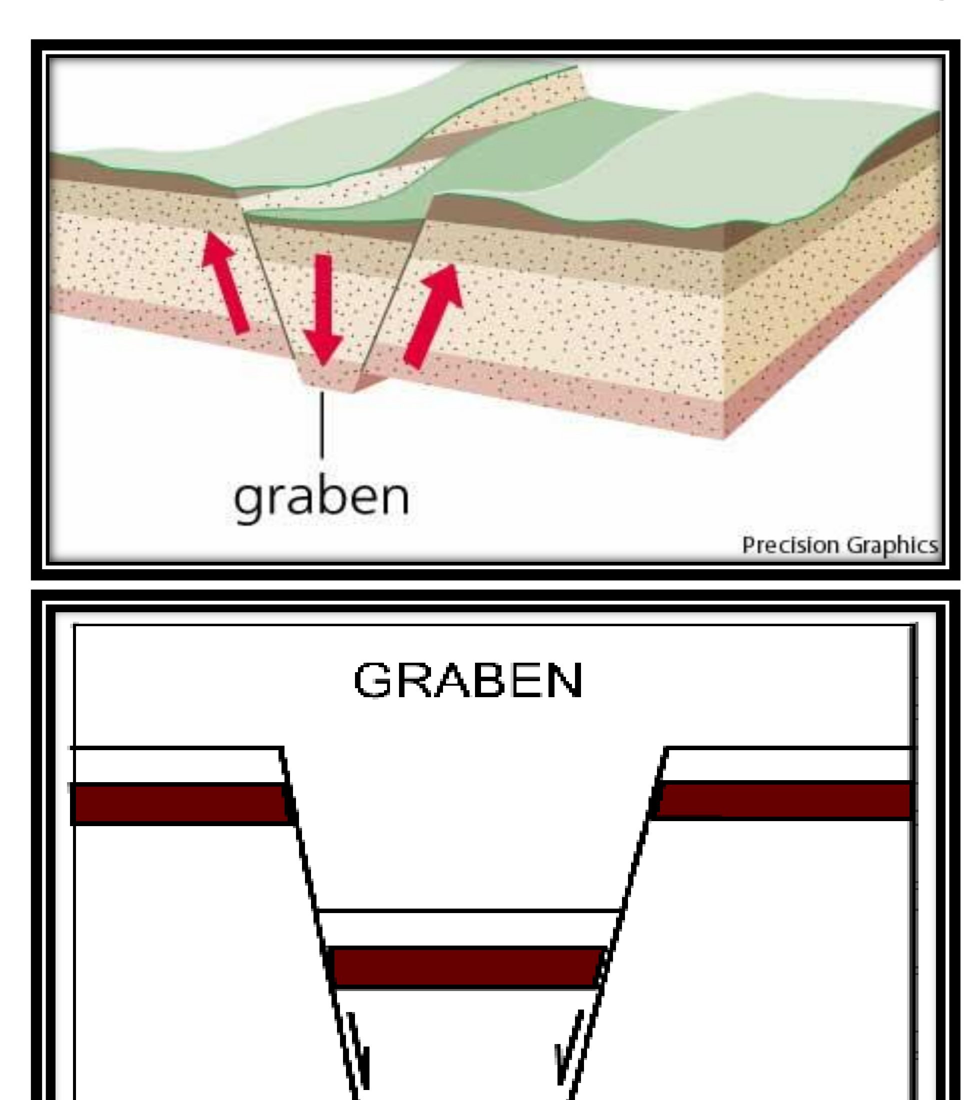
٣- الصدوع المدرجة Step Faults :

وهى مجموعات متوازية متدرجة من الصدوع تشبه السلم أو الدرج وتكون رمياتها فى اتجاه واحد .



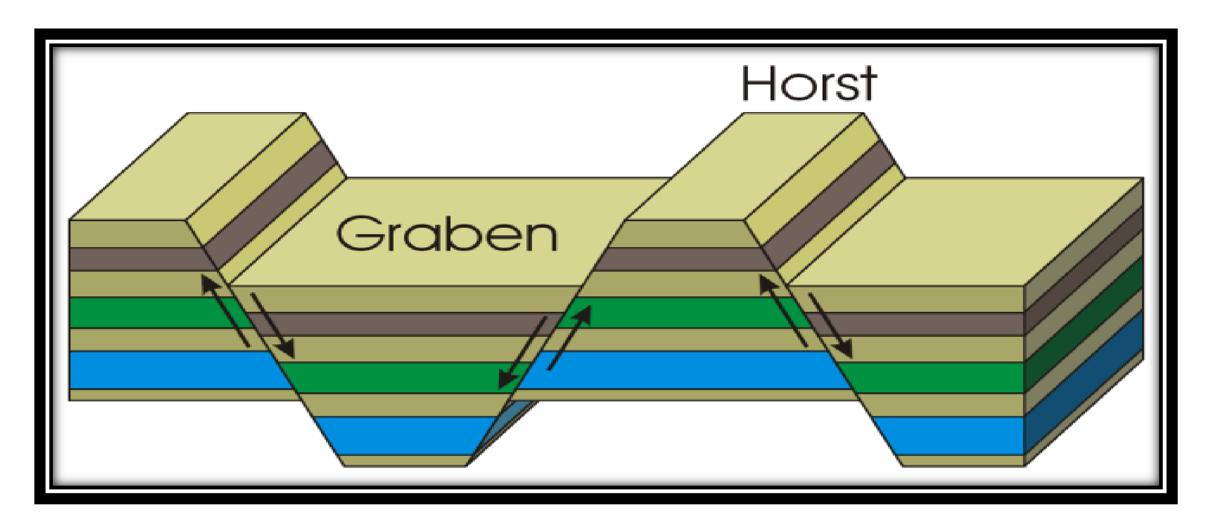
٤- الصدوع البارزة Graben Faults :

وهذه مجموعات من الصدوع ترمى جزء منها فى اتجاه ويرمى الجزء الأكبر فى الإتجاه وترمى الجزء الأكبر فى الاتجاه المضاد فتتكون بذلك كتلة عالية من الطبقات على جانبيها كتل من نفس الطبقات على مستوى أقل .



٥- الصدوع الخسيفة Horst Faults :

وهذه مجموعات من الصدوع ترمى مجموعة منها فى الإتجاه وترمى المجموعة الأخرى فى نفس الإتجاه فيتسبب عن ذلك خفض الكتل الوسطى من الطبقات إلى أسفل بالنسبة للكتل الجانبية .



ثالثاً : الفواصل:

هى شقوق تكونت فى الصخور دون أن يحدث نتيجة لتكونها أى انزلاق أو حركة على جانبى الشق ، ولا يخلو تقريبا أى صخر متصلب من هذه الشقوق ، وهى تتراوح فى الاتساع من شقوق قد لا ترى إلا بالعدسة إلى تصاعدت هائلة ذات امتداد كبير وقد تتسع مثل هذه الفواصل اتساعا كبيرا نتيجة الإذابة أو عوامل التعرية الأخرى ، وتوجد الفواصل فى الصخور عادة على هيئة مجموعات، كل مجموعة تشمل فواصل من نوع واحد، أى لها نفس الميل والاتجاه .



٢ ـ الأدلة على حدوث الحركة على امتداد الصدوع :

تنتشر الكسور في الصخور ولكن لا يمكن التعرف من النظرة الأولى عما إذا كانت قد حدثت حركة على امتداد هذه الكسور أم لا. بمعنى آخر، هل هذه الكسور فواصل أم صدوع؟.

وفي كثير من الأحيان لا يكون من السهل معرفة ما إذا كانت قد حدثت إزاحة أم لا، كما في حالة ما إذا كان الصخر متجانسا ومتساوي الحبيبات كالجرانيت، أو إذا كان الصخر مكونا من طبقات رقيقة لا يوجد شئ يميز أيا منها. ومع ذلك، فإنه قد يكون ممكنا تعرف سطح صدع أو صخر مجاور تماما له

تظهر فيه دلائل على حدوث تشوه محلي، وبالتالي حدوث حركة. وفي بعض الحالات الخاصة الأخرى، يمكن تعرف اتجاه الحركة النسبية.

وتسبب أحيانا حركة كتل الصخور على جانبي الصدع أن تصبح أسطح الصدع ناعمة، وبها خدوش أو أخاديد قليلة العمق. وتسمى الأسطح التي بها خدوش، والتي تكونت نتيجة الحركة على امتداد الصدع بخدوش الصدع أو بمصقل سحجي slickenside. وتدل الخدوش والأخاديد المتوازية على السطح . ولا تتكون في كل الصدوع خدوش من الصدع. وفي أحيان كثيرة، تؤدي حركة الصدع إلي طحن الصخور الموجودة على جانبي سطح الصدع، وتحوله إلي كتلة من قطع غير متساوية تعرف ببريشيا الصدع fault breccia. وقد تؤدي حركة الصدوع إلي الطحن الشديد لكسرات الصخور لدرجة قد لا يمكن ملاحظتها تحت الميكروسكوب. ومن أوضح الأدلة على الصدع إزاحة جزء من جدة موازية sill أو عرق أو طبقات مميزة بالنسبة لجزء آخر من الصخر أو التركيب نفسه.

٣ – العلاقة بين الطيات والصدوع :

لا تستمر الطيات والصدوع إلي مالانهاية، بل تميل الصدوع إلي أن تضمحل مثل الطيات، كما تضمحل الطيات حتى تصبح تجعدات أصغر فأصغر حتى تنتهي، وعندما يتعرض نوعان من الصخور للإجهادات (الضغوط) نفسها، فإن كان أحد النوعين من مادة قصفة تتشوه بالكسر ويتشوه النوع الثاني بالتشوه اللدن، فإنه تتكون طيات أحادية الميل نتيجة اختلاف طريقة تشوه النوعين. وتنتج معظم الطيات أحادية الميل نتيجة تحرك طبقات لدنة مسطحة فوق صدع، مما يسبب انحناء هذه الطبقة.

ويلاحظ أن بعض صدوع الدسر الكبيرة في جبال الألب، ربما بدأت كطيات مضطجعة. فإن زيادة الإجهاد باستمرار تؤدي إلي تشويه الطية المضطجعة، ويشد الطرف المقلوب overturned limb في الطية إلي أن ينكسر في النهاية ويصبح صدع دسر. وقد تصل الحركة على بعض الطيات المضطجعة الكبيرة وصدوع الدسر في جبال الألب إلي ما يزيد عن ٥٠كم.

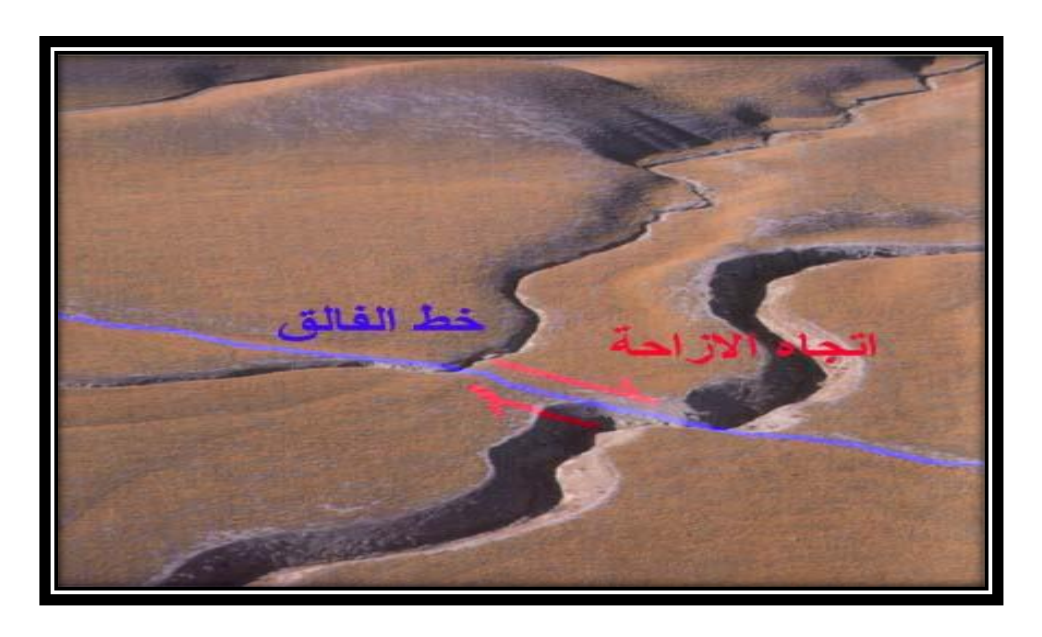
– تفسير التاريخ الجيولوجي :

التاريخ الجيولوجي لمنطقة ما هو تتابع لمجموعة من أحداث التشوه والعمليات الجيولوجية الأخرى. فإذا أخذنا منطقة يبدو تاريخها الجيولوجي صعب التفسير، فإننا نحاول أن نرى كيف أن بعض المفاهيم التي تم معالجتها في هذا الفصل تؤدي إلي تفسير بسيط للتاريخ الجيولوجي لتلك المنطقة. منطقة شهدت التتابع التالي للأحداث الجيولوجية:

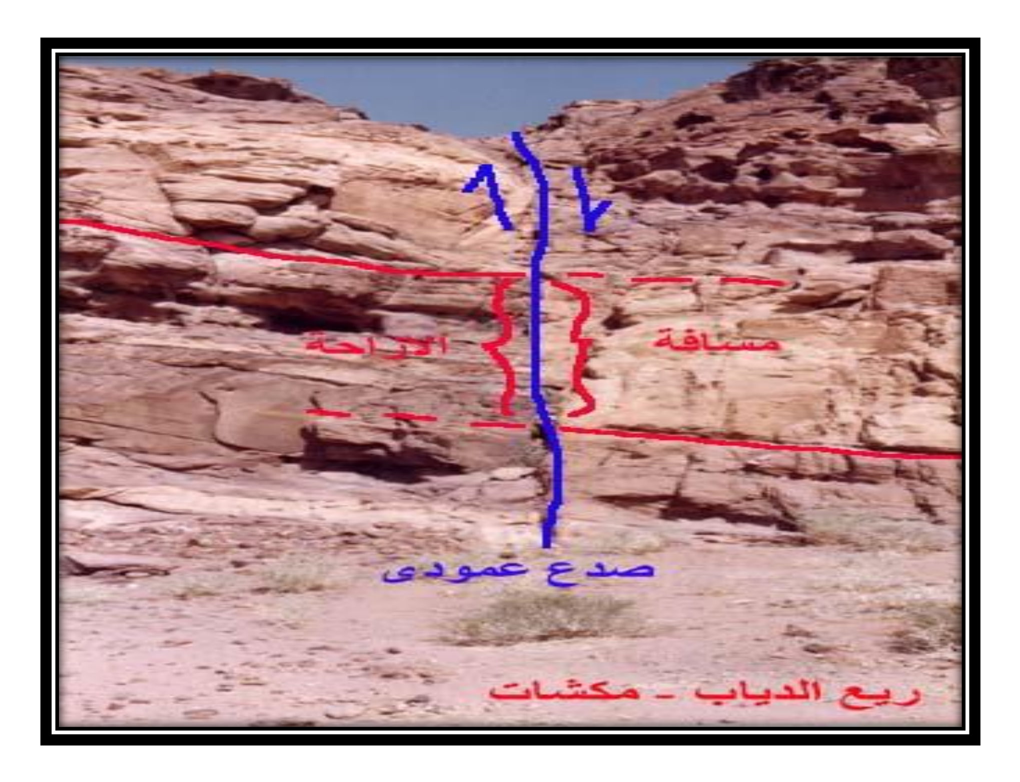
• ترسبت طبقات رسوبية أفقية فوق صخور القاعدة وتحولت إلي طبقات مائلة. ويمثل السطح بين صخور القاعدة والصخور الرسوبية سطح عدم توافق رقم (١). • رفعت هذه الطبقات فوق سطح البحر، حيث تعرضت للتعرية وتكون سطح أفقي جديد يمثل سطح عدم توافق رقم (٢). • هبطت المنطقة مرة أخرى تحت سطح البحر، حيث ترسبت طبقات رسوبية أفقية. ويمثل السطح الفاصل بين الصخور الرسوبية المائلة والطبقات الرسوبية الأفقية فوقها سطح عدم توافق رقم (٢). • رفعت تلك الطبقات مرة أخرى فوق سطح البحر، حيث تعرضت للتعرية وتغطت الطبقات الرسوبية بلابة بازلتية نتيجة انشقاق بركاني حدث نتيجة انشقاق بركاني حدث نتيجة قوى داخلية في الأرض. ويمثل السطح رقم (٣) سطح عدم توافق تبايني يفصل بين الصخور الرسوبية عن صخور اللابة البازلتية.

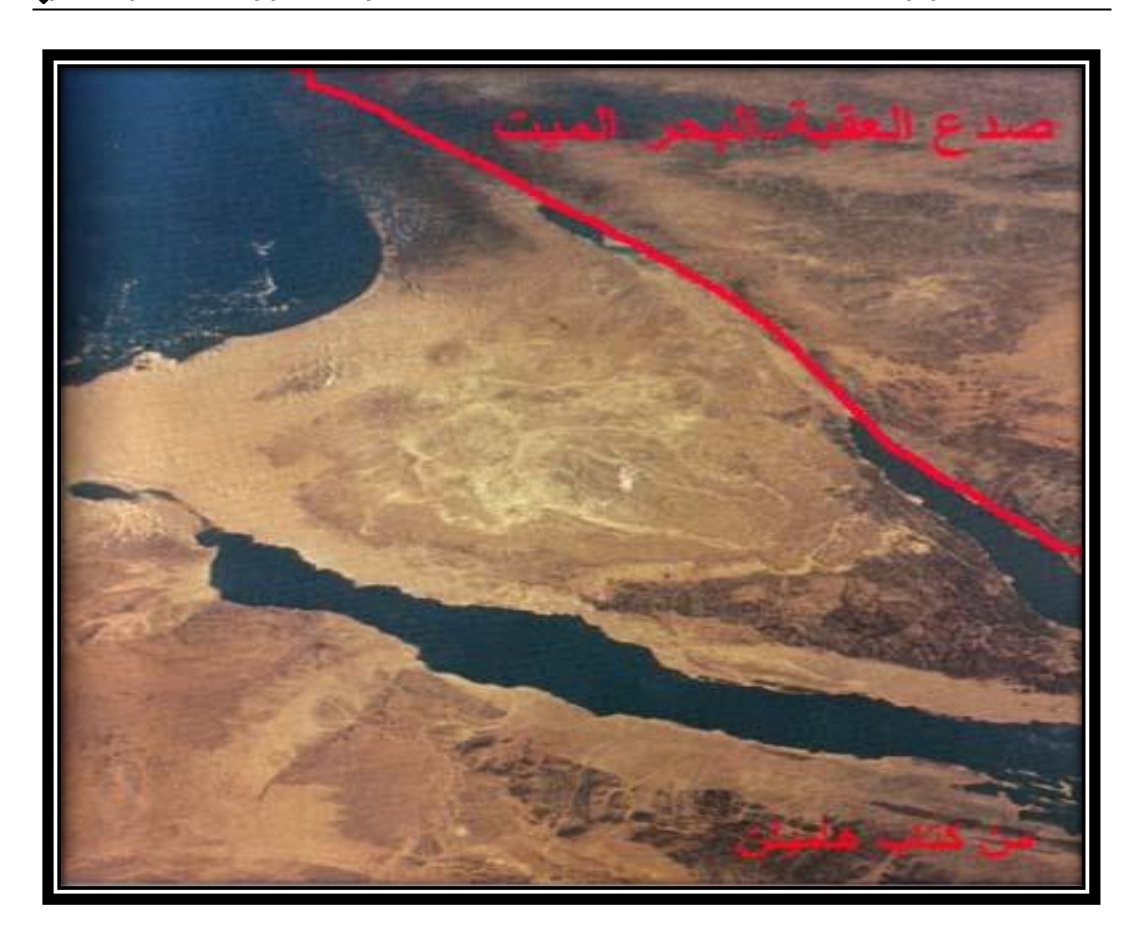
وبالطبع.. فإن الجيولوجي لا يشاهد إلا المرحلة النهائية من هذا التاريخ، ولكن عليه ان يتخيل كل هذه المراحل، حيث يبدأ الجيولوجي من قاعدة أن الطبقات لابد أنها ترسبت أفقية وغير مشوهة عند قاع محيط قديم، ثم يقوم بإعادة ترتيب بقية الأحداث.

صور لصدع (سان أندرياس) الشهير فى ولاية كاليفورنيا.



صدع رأسى فى منطقة مدين على خليج العقبة .







الفواصل

الفصل العاشر: الإنـهيار الكتلي

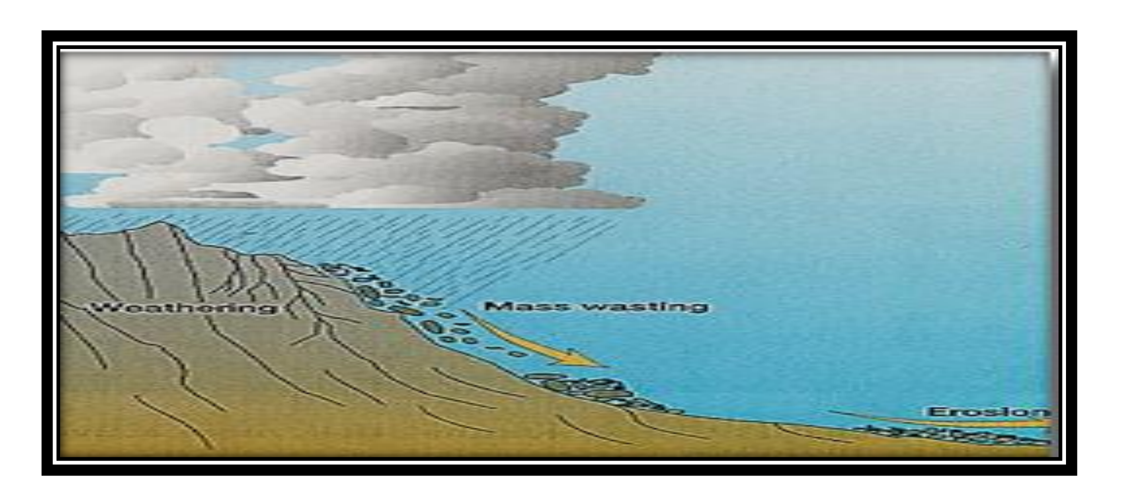


الانهيارات الارضية تنتج عن تحرك كتلي mass movement يطلق عليه أيضا الانهيال الكتلي mass wasting، وهو أحد أنواع تحرك كتل التربة أو الصخور أو الطين أو أي مواد غير متماسكة على المنحدرات تحت تأثير الجاذبية الأرضية. ولا تتحرك هذه الكتل في الأصل نتيجة تأثير أحد عوامل التعرية، مثل الرياح أو المياه الجارية أو جليد المثالج، ولكن يحدث التحرك الكتلي حينما تزيد قوة الجاذبية الأرضية عن قوة تماسك مواد المنحدرات. وتعمل الزلازل والفيضانات أو أي عوامل جيولوجية أخرى على تنشيط هذه التحركات، حيث تتحرك الكتل حينئذ إلي أسفل المنحدرات إما بمعدل بطئ (أو بطئ جدا) أو بمعدل تحرك كبير مفاجئ يصل أحيانا إلي حد الكارثة. وقد يسبب التحرك الكتلي إزاحة كميات صغيرة غير محسوسة من التربة إلي أسفل على الجانب اللطيف لتل، أو قد تسقط أطنان من الكتل الأرضية والصخور إلي قاع الوادي على الجوانب شديدة الانحدار للجبال نتيجة اشتراك عمليات السقوط أو الانزلاق أو الانسياب أو جميعها معا، وهو ما سنستعرضه فيما بعد.



انـهيار كتلي

ويشمل الانهيال الكتلي mass wasting كل العمليات التي تنحدر فيها كتل الصخور أو التربة على المنحدرات تحت تأثير الجاذبية، لتحملها عوامل النقل لمسافات بعيدة. والانهيال الكتلي أحد نواتج عملية تجوية وتكسر وتفتيت الصخور، ويمثل جزءا مهما من عملية التعرية العامة للأرض، خاصة في المناطق الجبلية أو التي تحتوي على تلال. وتغير التحركات الكتلية من طوبوغرافية الأرض نتيجة تحرك كتل كبيرة من جوانب الجبال نتيجة السقوط أو الانزلاق بعيدا عن المنحدرات. وتشكل المواد المتحركة في النهاية ألسنة أو امتدادات من الحطام على قاع الوادي، أو قد تتراكم في بعض الأحيان لتسد مجرى مائي على امتداد الوادي. وتعتبر رواسب الركام والأماكن الغائرة التي تتركها الكتل المتحركة والتي تعرف بالندبات scars دلائل على حدوث الانهيال الكتلي في الماضي. ويستخدم الجيولوجيون هذه الشواهد في التنبؤ والتحذير من حدوث انهيالات كتلية جديدة، كما يحذرون من القيام بأي نشاطات يكون من شأنها تفعيل هذه التحركات مثل القيام ببعض العمليات والإنشاءات الهندسية.



الجاذبية الأرضية هي القوة التي تتحكم بالتحرك الكتلي.



صورة تظهر كيف سببت الجاذبية انزلاق جزء من سفح الجبل نحو اسفل المنحدر.



انهيار مفاجئ لبالوعة.

وسنستعرض في هذا الفصل أسباب تحرك الكتل وتصنيفها، وعلاقة تحرك الكتل بتكتونية الألواح ومحاولات تجنب آثار الانهيال الكتلي:

<u>الانهيارات الارضية تقسم إلى مجموعتين رئيسيتين هما:</u>

<u>١-انهيار أو انزلا ق المنحدرات:</u>

أ - <u>انزلاق انتقالي:</u>

ويتميز هذا الانزلاق بتحرك الكتل على اسطح مستوية تقريبا او مائلة ميل خفيف

ب - <u>الإنزلاق الدوراني:</u>

ويمتاز بحرك الكتل على اسطح منحنية حيث يدور الجزء السفلي للكتلة للاعلى والجزء العلوي للاسفل بطريقة دورانية.

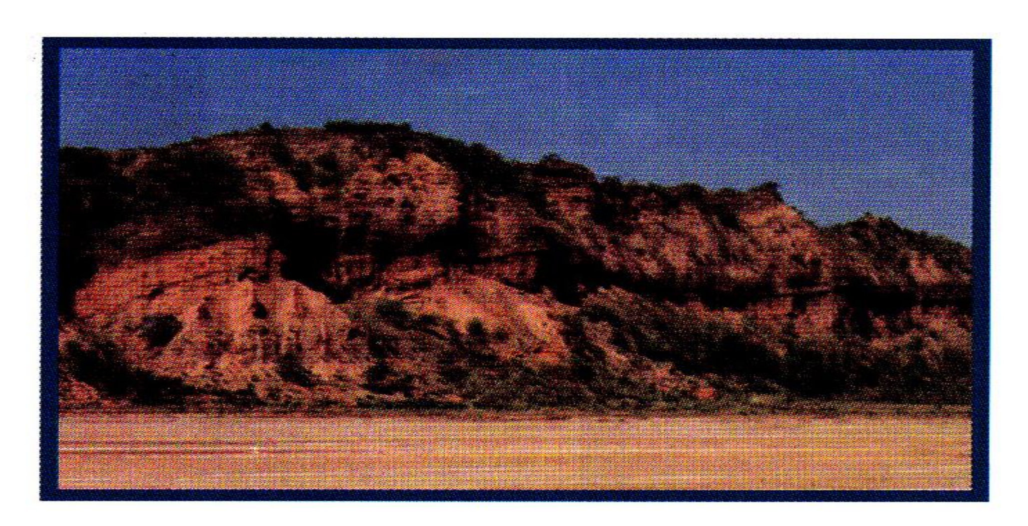
<u>ج- انسايبات او انزلاقات الرواسب:</u>

وهو سقوط مجموعة من الرواسب المشكلة من الماء والهواء والرواسب الى اسفل المنحدرات بسبب الحركة الداخلية لهذه الرواسب.

<u>٢- الانهيار الكتلى تحت الماء:</u>

تسمى المنحدرات المتواجدة تحت الماء بالمنحدرات التحت مائية وتعمل على تحريك الصخور والرواسب تحت تأثير الجاذبية الارضية مما يؤدي الى تشكل تيارات في اعماق البحار تعرف بتيارات العكروتسبب هذه الانحيارات تحت المائية الى تشكل بما يعرف برواسب الرف القاري.

التحرك الكتلى و تشكيل التضاريس الارضية:



- يشير التحرك الكتلي الى تحرك الصخور و الركام و التربة نحو اسفل المنحدر تحت تاثير الجاذبية الارضية فهي ليست بحاجة الى وسيط لينقلها كالماء او الرياح او الثلج.

- يعتبر التحرك الكتلي الخطوة الثانية التي تلي التجوية في تكوين المظاهر التضاريسية حيث ينقل الركام الى اسفل المنحدرات حيث تقوم الجداول و المجاري المائية بنقلها .

- فلو كانت الجداول وحدها المسؤولة عن تكوين الوديان لكانت هذه الوديان ضيقة ، في الحقيقة عندما تكون وديان الانهار اكثر اتساعا من عمقها يعد ذالك دليل على قوة تاثير التحرك الكتلي على امتداد المجاري المائية.

- أسباب تحرك الكتل:

لقد أوضحت الدراسات الحقلية أن هناك ثلاثة عوامل رئيسية تؤثر على التحركات الكتلية وهى:

(أ) طبيعة المواد المكونة للمنحدرات.
(ب) كمية الماء المحتوي في هذه المواد.
(ج) درجة ميل المنحدرات وعدم استقرارها.

ونعرض فيما يلى لكل من هذه العوامل بالتفصيل:

أ – طبيعة المواد المكونة للمنحدرات :

تختلف المواد المكونة للمنحدرات كثيرا من مكان لآخر، حيث تعتمد على العناصر الجيولوجية المحلية الموجودة في كل منطقة. فقد يكون المنحدر مكونا من كتل صلبة من صخور الساس bedrock أو من حطام صخري (اديم) regolith يتكون من مجموعة الصخور المفتتة في موضعها أو المنقولة من موضع آخر والتي تغطي صخور الأساس، وتشمل على حطام الصخور والرماد البركاني وتراكمات التربة والبقايا النباتية أو الرواسب. وقد تكون مواد المنحدر متماسكة

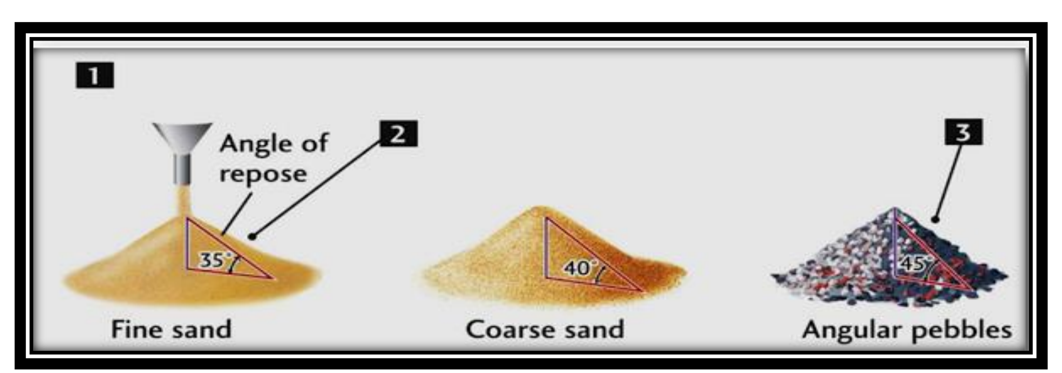
أو غير متماسكة، ولكن تكون المنحدرات المكونة من مواد غير متماسكة أقل استقرارا من المنحدرات المكونة من مواد متماسكة.

١ – المواد غير المتماسكة :

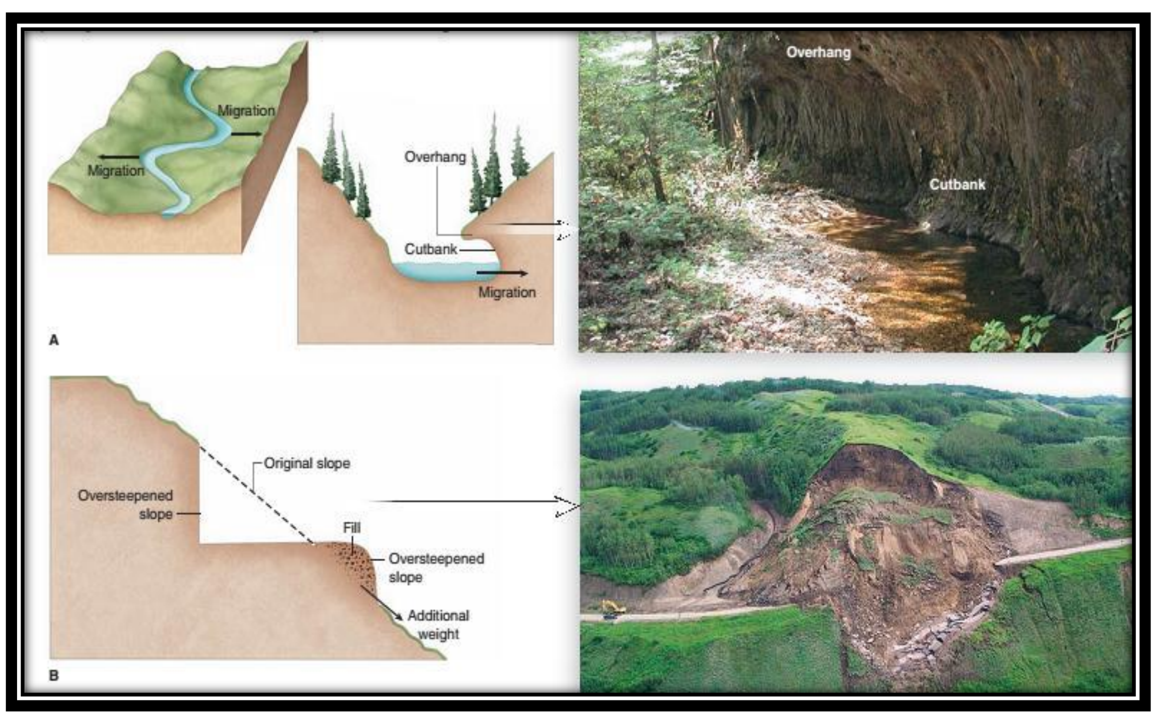
يمكن تعرف الطريقة التي تؤثر بها درجة ميل المنحدرات وعدم استقرارها على التحرك الكتلي للمواد غير المتماسكة unconsolidated materials من ملاحظة حركة الرمال الجافة المفككة. فالزاوية المحصورة بين درجة ميل المنحدر في أي كومة من الرمال والمستوى الأفقي تكون ثابتة، سواء كان ارتفاع كومة الرمل عدة سنتيمترات أو مئات الأمتار. وتبلغ قيمة هذه الزاوية لمعظم الرمال حوالي ٣٥. فإذا جرفنا بعض الرمال من قاعدة الكومة ببطئ وحذر زادت زاوية الانحدار قليلا، ويظل الرمل متماسكا مؤقتا حتى إذا قفز شخص على الأرض بجوار كومة الرمل فإن الرمل يندفع لأسفل على جانب الكومة، وتسترجع الكومة زاوية الانحدار الأصيلة وهى ٣٥. وعلى الرغم من أن الرمال المندفعة تبدو وكأنها تتحرك كوحدة واحدة، إلا أن معظم الحركة تتم عن طريق تحرك الحبيبات كل على حدة فوق وحول بعضها البعض. ويمكن رؤية حركة الرمال هذه على المنحدرات الشديدة للكثبان الرملية.

وتسمى الزاوية الأصلية والمستعادة لكومة الرمل بزاوية الاستقرار angle of repose، وهى أقصى زاوية مقاسة من الأفقي، يمكن أن يستقر عندها انحدار المادة المفككة دون أن تنهار. ويكون الانحدار الأكثر حدة من زاوية الاستقرار انحدارا غير مستقر ويميل لأن ينهار ليصل إلي الزاوية المستقرة.





وتتغير زاوية الاستقرار بدرجة ملحوظة بسبب عدد من العوامل، منها حجم وشكل الحبيبات . فالحبيبات المفككة الأكبر حجما والمسطحة الشكل، والتي يكون لها حواف حادة تبقى مستقرة على المنحدرات الحادة. كما تتغير زاوية الاستقرار أيضا مع كمية الرطوبة الموجودة بين الحبيبات. فزاوية استقرار الرمال الرطبة تكون أكبر من زاوية استقرار الرمال الجافة، وذلك يرجع إلي أن الرطوبة القليلة الموجودة بين حبيبات الرمل تعمل على ربطها ببعضها البعض بحيث تقاوم الحركة. ويرجع هذا التماسك بين الحبيبات إلي ظاهرة التوتر السطحي – surface tension قوة الجذب بين الجزيئات عند سطح ما . والتوتر السطحي هو الذي يجعل قطرات الماء مستديرة حتى تنخفض طاقة السطح الكلية وينتج عن ذلك خفض مساحة السطح الخارجي لقطرات الماء. والتوتر السطحي أيضا هو الذي يسمح لشفرة حلاقة صغيرة أو مشبك معدني للورق أن يطفو على سطح الماء الهادئ . أما إذا وجدت كمية كبيرة من الماء بين الحبيبات فإنها تعمل على إبعاد الحبيبات عن بعضها البعض، بما يسمح لها بحرية الحركة فوق بعضها البعض. ويتحرك الرمل المشبع بالماء مثل الموائع، وينهار على شكل كعكة مستوية أو عدسة رقيقة. والتوتر السطحي هو الذي يربط حبيبات الرمل ويسمح لبعض الأشخاص على الشواطئ أن يبنوا قلاعا من الرمال. ولكن عندما تتشبع هذه الرمال بالماء، فإن هذه الأشكال تنهار.



يمكن للعمليات الطبيعية والغير طبيعية ان تزعزع استقرارية المنحدرات .القطع السفلي لضفاف الانهار .تشيد الطرق السريعة والابنية علي التضاريس الجبلية.

٢ – المواد المتماسكة :

لا يكون للمواد المتماسكة consolidated materials الجافة مثل الرواسب المضغوطة والمتلاحمة ببعضها والتربة المزروعة زاوية استقرار كتلك التي تميز المواد المفككة. وقد تكون

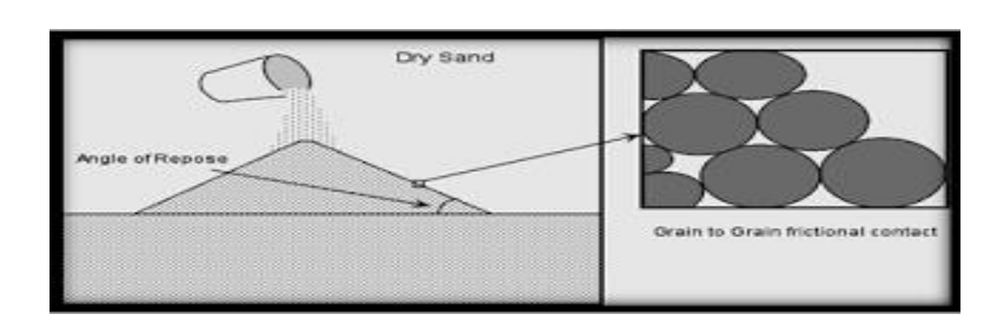
منحدرات المواد المتماسكة أكثر حدة وأقل انتظاما، ولكنها تصبح غير مستقرة عندما تزيد زاوية الانحدار أو عندما تزال النباتات منها.

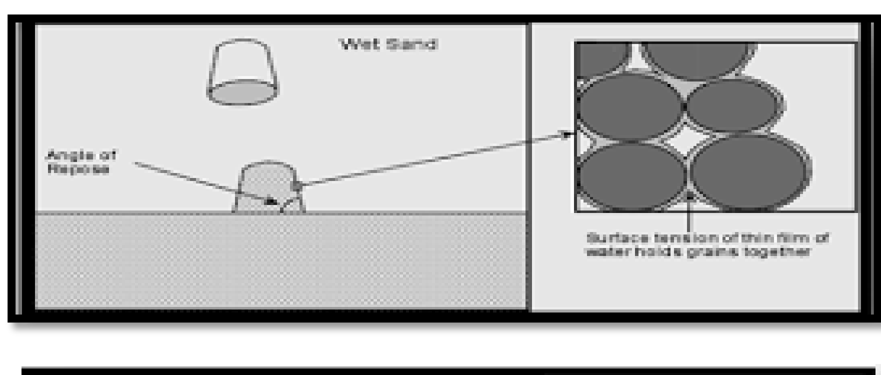
وقوى التجاذب التي تربط بين حبيبات المادة الصلبة الجافة نوعان: تماسكية cohesive ولاصقة adhesive. وترتبط حبيبات الرواسب المتماسكة مع بعضها البعض بروابط تماسكية، مثل الصلصال الكثيف. وعموما، فإن التماسك هو قوى جذب بين حبيبات مادة صلبة من النوع نفسه تكون قريبة من بعضها البعض.

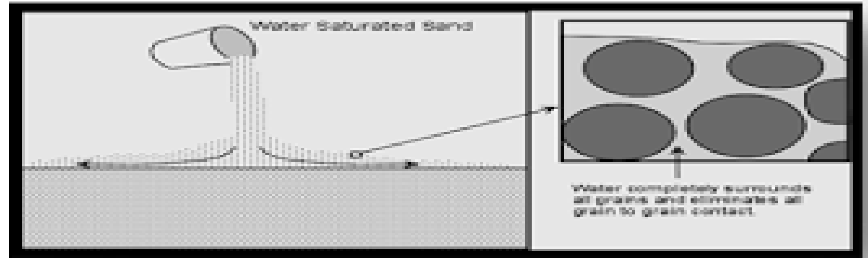
وتسمى مقاومة الحركة الناتجة عن قوى التماسك والتلاصق والتلاحم وتأثير جذور النباتات بالاحتكاك الداخلي internal friction، لأنها تشبه الاحتكاك الذي يقاوم الحركة بين أجزاء المادة. وتكون الحبيبات في المواد ذات الاحتكاك الداخلي العالي غير حرة بنفس درجة تحرك الحبيبات المفككة مثل حبيبات الرمل. وعندما تتحرك هذه المواد، فإنها تميل إلي أن تتحرك كوحدة واحدة.

ب – المحتوى المائى :

تعتمد كمية الماء الموجودة في المواد على درجة مسامية هذه المواد، وكمية ماء المطر أو أي مياه أخرى تعرضت لها هذه المواد. ويرجع التحرك الكتلي للمواد المتماسكة إلي تأثير الرطوبة، بالإضافة إلي عوامل أخرى مثل زيادة شدة انحدار المنحدرات وإزالة النباتات الموجودة بها، حيث تصبح التربة غير متماسكة بسبب عدم وجود جذور النباتات وبالتالي تكون عرضة للتأثر بالماء وعدم الاستقرار. وعندما تصبح الأرض مشبعة بالماء، فإن المادة تصبح زلقة وينخفض بالتالي الاحتكاك الداخلي بها وتستطيع الحبيبات التحرك بسهولة أكبر بالنسبة لبعضها البعض. وقد يتسرب الماء في مستويات التطبق للرواسب الطينية أو الرملية مثلا، ويزيد من معدل انزلاق الطبقات فوق بعضها البعض. ويشبه ذلك الوضع القيادة تحت تأثير المطر الشديد، حيث تنزلق إطارات السيارات على الطريق مما يفقد السائق التحكم في المركبة. ومما يساعد على زيادة الضغط تحت كتل الصخور المتحركة وجود الهواء المختلط مع الرواسب، مما يقلل أيضا من عملية الاحتكاك. وعندما تمتص المواد المتماسكة كميات كبيرة من الماء، فإن ضغط الماء في مسام المادة يكون كبيرا بدرجة تكفي لفصل الحبيبات وتنتفخ الكتلة، وتبدأ المادة حينئذ في الانسياب مثل المواد المائعة.







وهكذا يمكن وصف تأثير الماء على تحرك الصخور والرواسب على المنحدرات تحت تأثير الجاذبية، بأنه نتيجة لعاملين مهمين هما :

١-انخفاض التماسك الطبيعي بين الحبيبات.
٢- انخفاض الاحتكاك عند قاعدة كتلة الصخر نتيجة زيادة ضغط السائل.

ج – درجة ميل المنحدرات وعدم استقرارها :

تؤدي شدة انحدار المنحدرات وعدم استقرارها إلي سهولة سقوط fall وانزلاق sliding أو انسياب flow الكتل الصخرية تحت تأثير الظروف المختلفة. وتتراوح درجة ميل المنحدرات بين انحدرات لطيفة نسبيا لطبقات الطفل والرماد البركاني إلي انحدارات حادة لجروف الصخور الصلدة مثل الجرانيت. ويمكن التعبير عن استقرار منحدر ما بالعلاقة بين تلك الإجهادات التي تعمل على أن تغير من استقرار مواد الانحدار وتسبب تحركها، والقوى التي تعمل على مقاومة تلك الإجهادات الدافعة. وتسمى القوة الدافعة التي تعمل على أن يتحرك جسم ما في اتجاه مماس لمستوى الانحدار بإجهاد القص shear stress.

والعامل الأساسي الذ يؤثر في إجهاد القص هو الشد بالجاذبية، والذي يتأثر بدوره بدرجة ميل المنحدر. حيث تعمل الجاذبية على جذب الأجسام في اتجاه عمودي على السطح الأفقي . ويمكن تحليل قوة الجاذبية فوق أي منحدر إلي مركبتين متعامدتين، إحداهما تكون عمودية على اتجاه

المنحدر ، وتعمل على تثبيت الأجسام في أماكنها، أما المركبة الأخرى فتكون مماسة للجسم وتعمل في خط مواز للمنحدر ، وهى التي تسبب تحرك الأجسام في اتجاه ميل المنحدر. وعندما تزداد درجة ميل المنحدر، فإن المركبة المماسة تزيد عن المركبة العمودية ويصبح إجهاد القص أكبر. أما القوة الثانية التي تعمل على مقاومة تلك القوة الدافعة وتسمى قوة القص shear strength، فهى المقاومة الداخلية للجسم لمثل هذا التحرك. ويتحكم في قوة القص عدة عوامل موجودة في مادة الصخر أو الحطام الصخري. وتشمل هذه العوامل مقاومة الاحتكاك والتماسك بين الحبيبات والتماسك بفعل جذور النباتات.

وعندما تكون قوة القص أكبر من إجهاد القص، فإن الصخر أو الغطاء الصخري لا يتحرك. وتحدث الحركة بالطبع عندما تزيد القوة الدافعة (إجهاد القص) عن قوة المقاومة (قوة القص). ويمثل هذه العلاقة أيضاً ما يعرف باسم عامل الأمان safety factor للانحدار، ويعبر عنه بالنسبة التالية: معامل الأمان Fs=قوة القص ÷ إجهاد القص.

وعندما تكون قوة القص shear strength أكبر بدرجة ملحوظة من إجهاد القص shear stress يوصف المنحدر بأنه مستقر(معدل أكبر من ٣ – ١) ولا تحدث بالتالي أي تحركات. وعندما يزيد إجهاد القص عن قوة القص (معدل أقل من ١) فمن المفترض حدوث حركة على المنحدر في توقيت قريب، ويوصف المنحدر حينئذ بأنه غير مستقر.

وبالإضافة لما سبق، فإن تركيب الطبقات يؤثر على استقرارها، خاصة حينما يكون ميل الطبقات موازيا لزاوية ميل الإنحدار. فقد تكون أسطح التطبق نطاقات ضعف محتملة، لأن الطبقات المتجاورة تختلف تركيبها المعدني والنسيج أو في قابليتها لامتصاص الماء. فمثل هذه الطبقات قد تصبح غير مستقرة، حيث تنزلق كتل الصخور على امتداد أسطح التطبق الضعيفة.

وتؤثر كل العوامل الثلاثة السابقة وأيضا النشاط البشري أثناء عمليات حفر وإنشاء المباني ومد الطرق في استقرار المنحدرات، حيث تعمل على تقليل مقاومة الكتل الصخرية للتحرك، ممايساعد قوة الجاذبية على جذب الكتل فتسقط وتنزلق على المنحدرات.

د – بادئات (محفزات) التحرك الكتلى :

إذا توافرت في منطقة ما العوامل المؤدية إلي عدم استقرار المنحدرات (المواد المكونة للمنحدر، والرطوبة، وحدة زاوية الانحدار) فإنه لا يمكن تجنب حدوث انزلاق للصخور، وكل ما يحتاجه الأمر عندئذ هو وجود عامل منشط لبدء الحركة، حيث يمكن أن تسبب عاصفة ممطرة شديدة بدء انزلاق أو فيضان الركام.

وفيما يلى استعراض سريع للعوامل التى تعمل على بدء التحرك الكتلى:

١ – **التقوض:** undercutting هو إزالة المواد من قاعدة جرف أو منحدر شديد الميل أو وجه صخري مكشوف. وقد يحدث ذلك بفعل البشر خلال أعمال الإنشاءات الهندسية على الطرق وخلافه، أو بفعل عوامل طبيعية مثل تعرية الماء الساقط أو الجاري أو حركة الأمواج على الشاطئ.

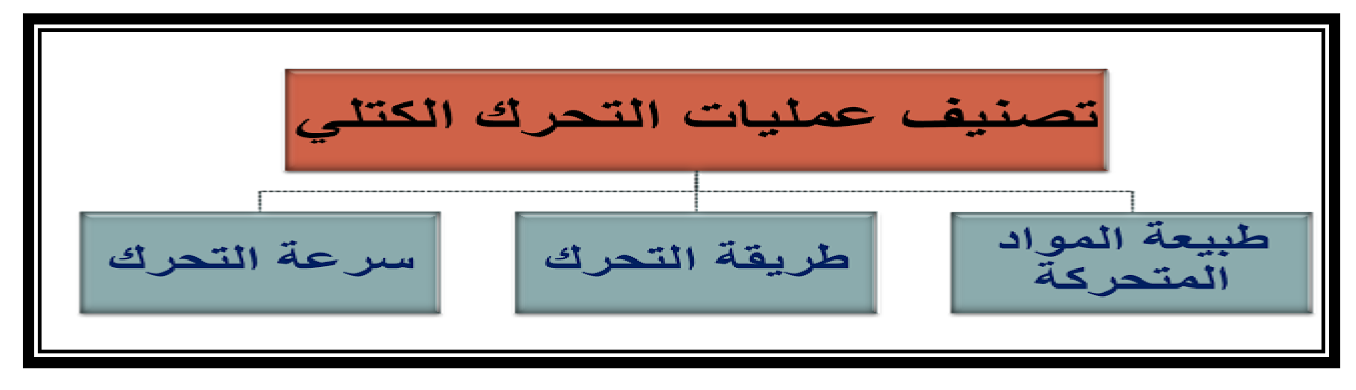
٢ – **زيادة الحمل:** overloading على المنحدر (مثل إنشاء المباني) بحيث لا يستطيع تحمل الوزن المضاف، ولذلك فإنه ينزلق أو ينساب.

٣ – **الذبذبات من الزلازل :**أو التفجيرات في بعض المحاجر (مثل منطقة المقطم شرق القاهرة) مما يؤدي إلي كسر الروابط التي تربط مكونات المنحدر في مكانها.

٤ – **إضافة الماء:** حيث تكون إضافة الماء موسمية غالبا، وهذا هو السبب في أن بعض الأوجه الصخرية المقطوعة حديثا تبقى حتى سقوط الأمطار في الموسم التالي.ويؤثر الماء بطريقتن:

إما بإضافة الحمل على المنحدر، أو بتقليل التماسك الداخلي بين المكونات. والتأثير الرئيسي للماء هو ملء الفراغات بين الحبيبات، وعند زيادتها فإن الماء الإضافي يملأ كل الفراغات بين الحبيبات بحيث ينعدم تأثير التوتر السطحي الذي يربط الحبيبات مع بعضها البعض. كما أن إضافة الماء إلي بعض معادن الصلصال التي توجد في بعض أنواع التربة يزيد من حجمها. ولذلك فإن إضافة الماء إلي منحدرات مكونة من هذا النوع من الصلصال المنتفخ يؤدي إلي تنشيط الانهيارات الأرضية.

- تصنيف عمليات الانهيال الكتلى :



١- طبيعة المواد:

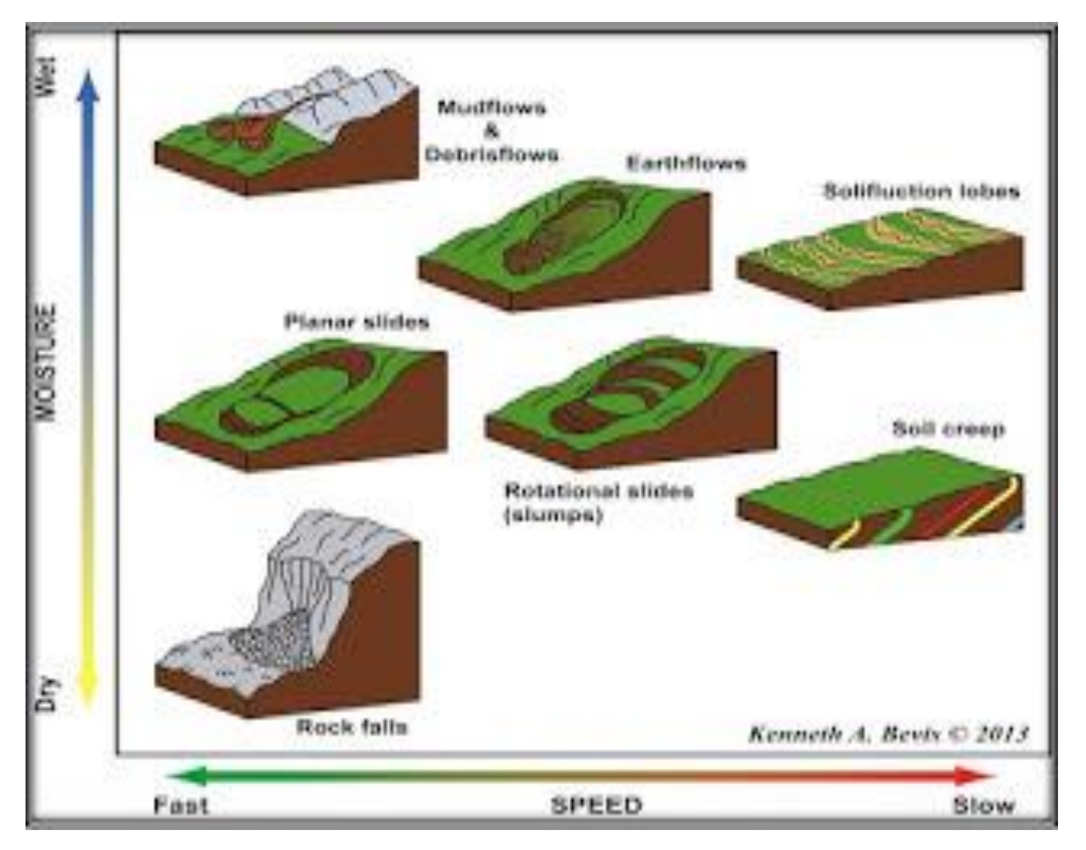
- يعتمد التصنيف على كونها مواد مفككة او طبقة صخرية ، و السائد هو التربة المفككة او الغطاء الصخري المفكك.



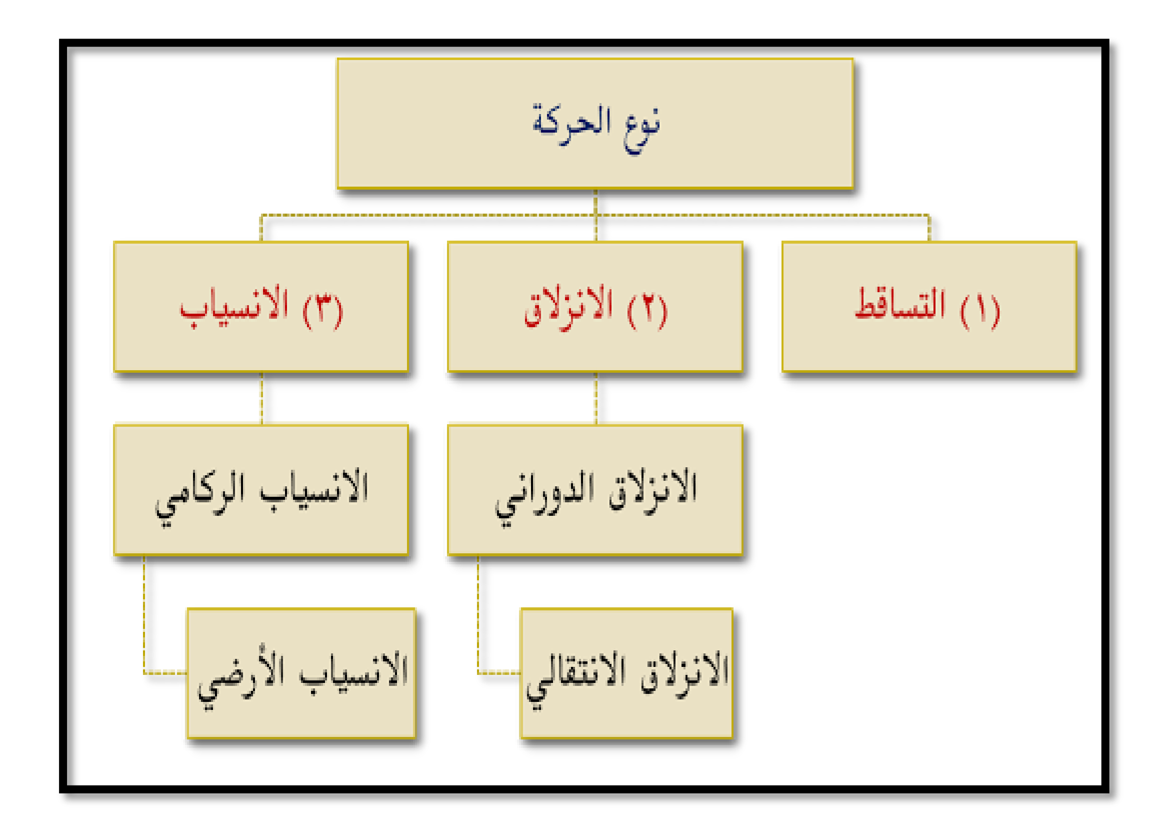


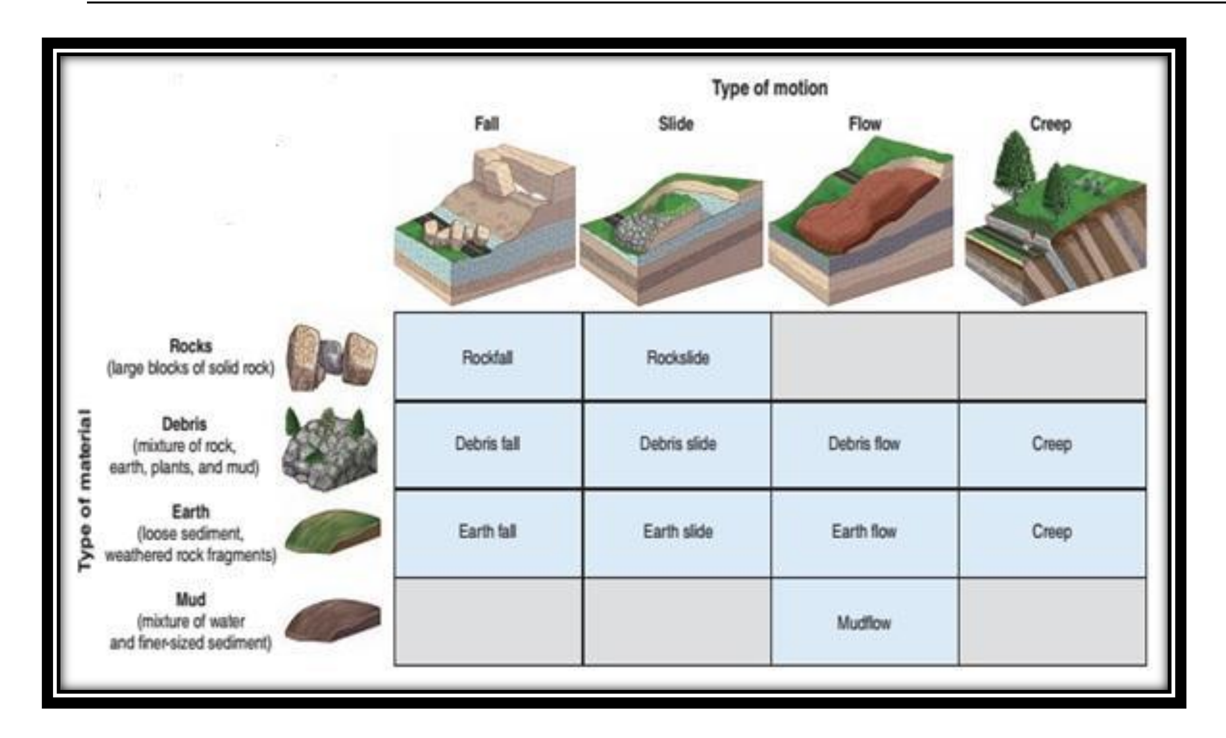
٢ـمعدل التحرك (السرعة):

-تحدث الانهيارات الصخرية عندما تندفع الصخور و الركام الى اسفل بسرعة تتعدى ٢٢٠ كم /ساعة ، وهناك تحركات بطيئة ، كما انه يمكن ان تختلف سرعة التحرك الكتلي في العملية الواحدة من مكان الى اخر.



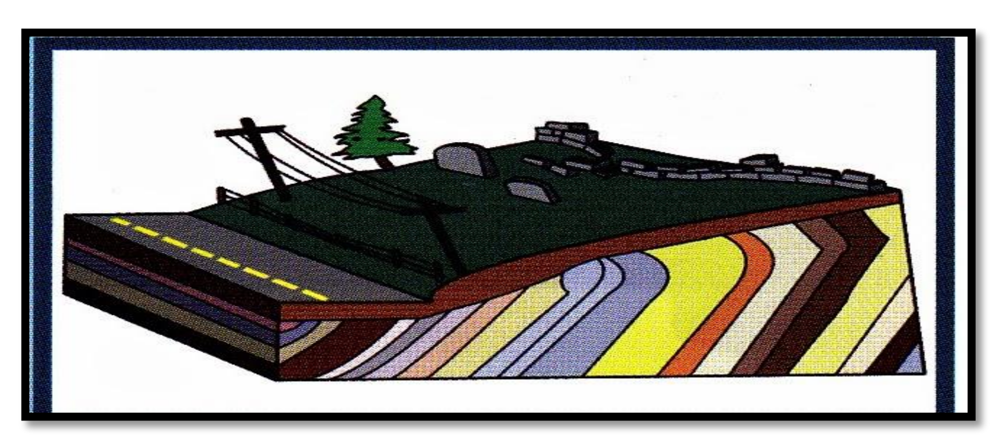
٣- **طريقة الحركة (نوع الحركة):**





تصنيف الانجراف الكتلي اعتماد علي نوع الحركة اسفل المنحدر ونوع المادة المكونة للمنحدر.

٤ ـ التحركات البطيئة:

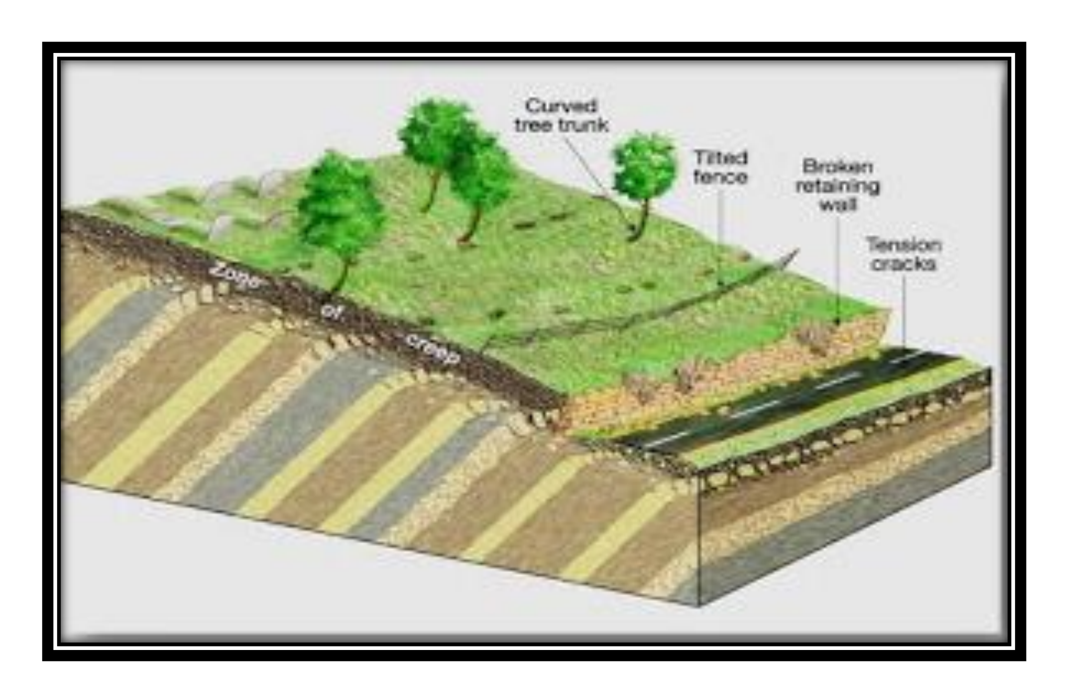


التحرك البطئ

ـ الانزلاقات الارضية و الانهيار الصخري و اللاهار من اهم التحركات الكتلية و التي تسبب الكوارث.

ـ التحركات الفجائية هب المسؤولة عن نقل مواد اقل من تلك التي تنتقل بفعل التحركات البطيئة كالزحف ، و الذي ينقل التربة و الغطاء الصخري ببطء.

- احد العوامل التي تتسبب بالزحف هي عملية تناوب التمدد والانكماش.
- يصعب ملاحظة الزحف بسبب التحركات الشديدة البطء.
- الظواهر التي تدل على التحركات البطيئة (الزحف) هي التواء الاسوار و ازاحة الاعمدة.





تشترك كل عمليات انهيال الكتلي في صفة واحدة مميزة وهى حدوثها على المنحدرات. ويعرف أي تحرك محسوس لكتلة من صخور الساس أو من الحطام الصخري (الأديم) أو من مخلوط منهما معا لأسفل على أسطح المنحدرات بالانزلاق الأرضي landslide. ويمكن تعرف أنواع مختلفة من الحركة على المنحدرات، ولكن لأنها غالبا ما تتداخل مع نعضها البعض، فإنه لا يوجد تصنيف بسيط ونموذجي لتلك العمليات. فكما ذكرنا، فإن تركيب ونسيج الراسب المكون للمنحدر وكمية الماء والهواء المختلطة مع الرواسب وزاوية ميل المنحدر، تؤثر جميعا على نوع وسرعة

الحركة. ويلاحظ أن هناك تدرجاً في قوة الانهيالات تتراوح بين انسياب مجرى مائي إلي مجرى مائي آخر محمل بالرواسب، إلي مجموعة عمليات الانهيال الكتلي التي تتراوح بين تلك التي يحفز فيها الماء عملية الانسياب إلي تلك التي لا يلعب فيها الماء دوراً مباشرا أو مهماً.

<u>ويمكن تقسيم عمليات الانهيال الكتلي إلي مجموعتين رئيسيتين هما:</u>

- **<u>انهيار المنحدرات</u>** slope failure، وينتج عن الانهيار المفاجئ لمنحدر مما يؤدي إلي نقل كتل متماسكة نسبيا من الصخر أو الحطام الصخري إلي أسفل على المنحدرات بالسقوط falling أو الانزلاق sliding. وهناك نوعان من الانزلاق أولهما الانزلاق الانتقالي transitional slide، حيث تتحرك الكتلة الهابطة على أسطح مستوية تقريبا ومائلة، وثانيهما الانزلاق الدوراني rotational slide ويسمى أيضا التدهور slump، وهو يشمل الحركة على أسطح منحنية، حيث يتحرك الجزء العلوي للكتلة المنزلقة إلي أسفل ويتحرك الجزء السفلي إلي أعلى.

- **<u>انسيابات الرواسب</u>** sediment flows وهو انسياب مخاليط من الرواسب والماء والهواء إلي أسفل المنحدرات بسبب الحركة الداخلية لكتل الحطام الصخري. وتتأثر تلك العملية بنسبة الراسب في المخلوط المناسب وسرعة الانزلاق.

وسنستعرض فيما يلي هذين النوعين من الانهيال الكتلي، كما سيتم أيضا استعراض سريع لبعض عمليات ورواسب الانهيال الكتلي في مناطق المناخ البارد وعلى قيعان المحيطات:

<u>أ – انهيار المنحدرات:</u>

تعمل الجاذبية الأرضية على انهيار جروف الجبال ومنحدرات التلال باستمرار. وحين يحدث الانهيار فإن الركام الصخري ينتقل لأسفل على المنحدرات وينشأ منحدر ثابت جديد. وتعمل الزلازل والمجاري المائية والأمطار الغزيرة المستمرة وانبثاقات البراكين على تنشيط عملية الانهيار. كما ترتبط الانهيارات المتلاحقة بالترسيب السريع للرواسب وزيادة حدة انحدار المنحدر والصدمات الزلزالية. ونعرض فيما يلي لأنواع انهيار المنحدرات slope failure.



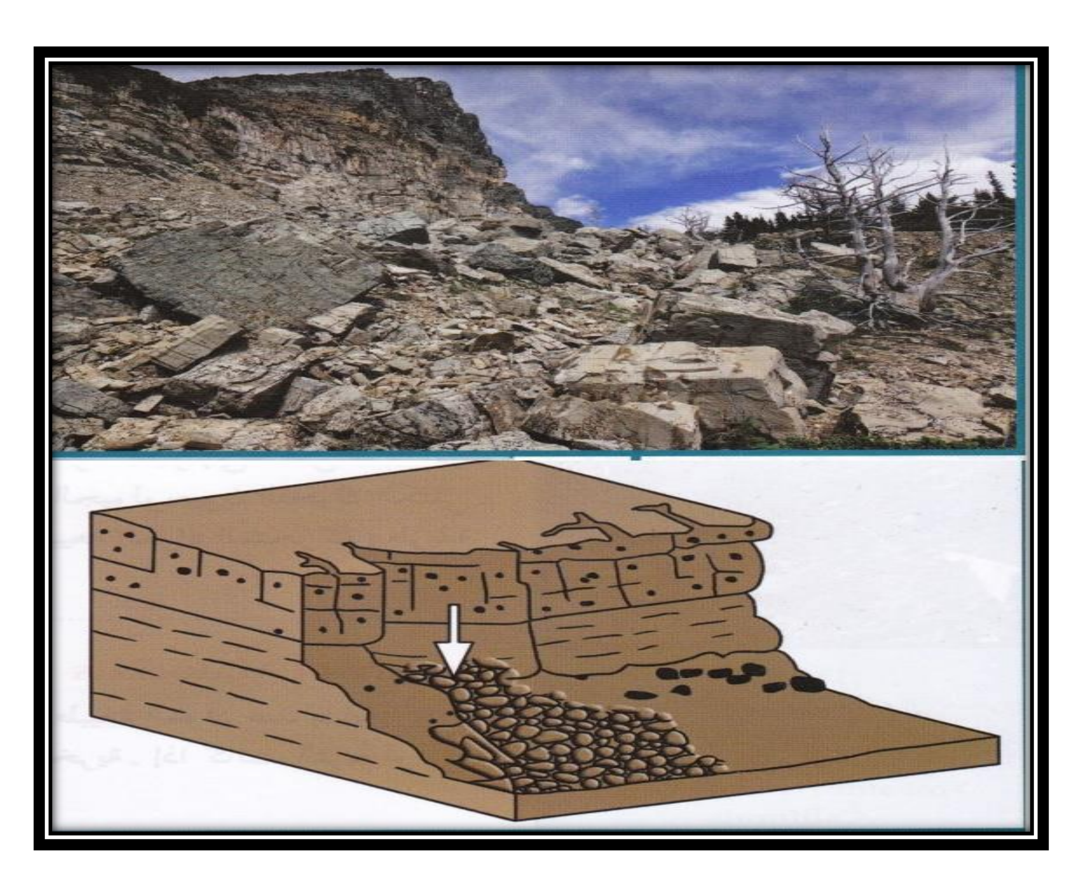
الاختلافات في القوة والمقاومة لتجوية الطبقات رسوبية تسطر علي شدة انحدار المنحدرات في الخانق العظيم.

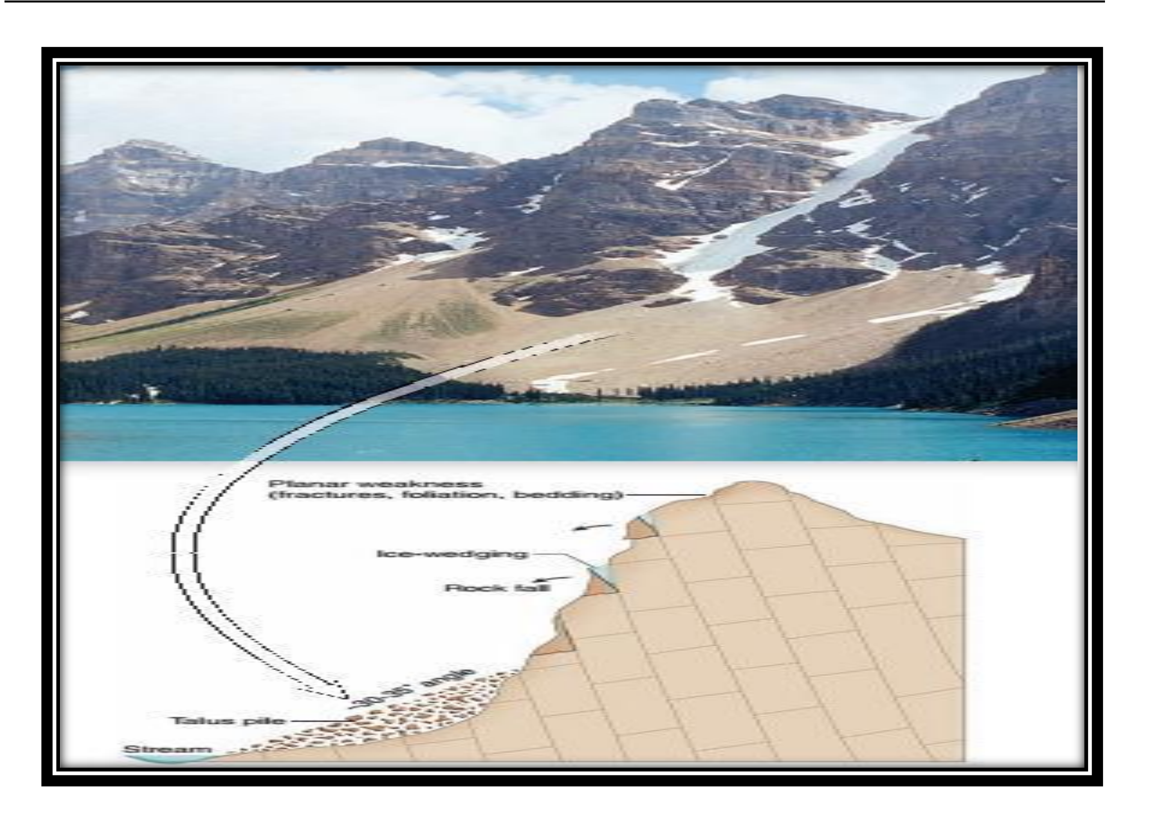


انهيار صخري في منطقة جبلية

١ – السقوط الصخري:

السقوط الصخري rockfall هو سقوط حر في الهواء لكتلة من صخر الأساس أو من الحطام الصخري من جرف أو منحدر حاد . ويكون سقوط الصخور شائعا في المناطق الجبلية شديدة الانحدار، حيث يكون الحطام الصخري رواسب واضحة عند سفوح المنحدرات الحادة. وعندما يسقط الصخر بحرية، فإن سرعته تزداد كلما زادت مسافة السقوط.





السقوط الصخري

٢ ـ الانزلاق:

وقد يتضمن سقوط الصخور نزع وسقوط كسرة صخرية واحدة أو قد يتضمن انهيار مفاجئا لكتلة ضخمة من الصخور التي تندفع من مئات الأمتار لتكتسب سرعة عالية وتتكسر عند الاصطدام بالأرض إلي عدد ضخم من القطع الأصغر التي تتجمع في النهاية وتتوقف عند أسفل المنحدر. وعند حدوث انهيار صخري من جبل، فإن هذا الانهيار لا يشمل الصخور فقط ولكن يشمل أيضا ما يعلوه من رواسب ونباتات.

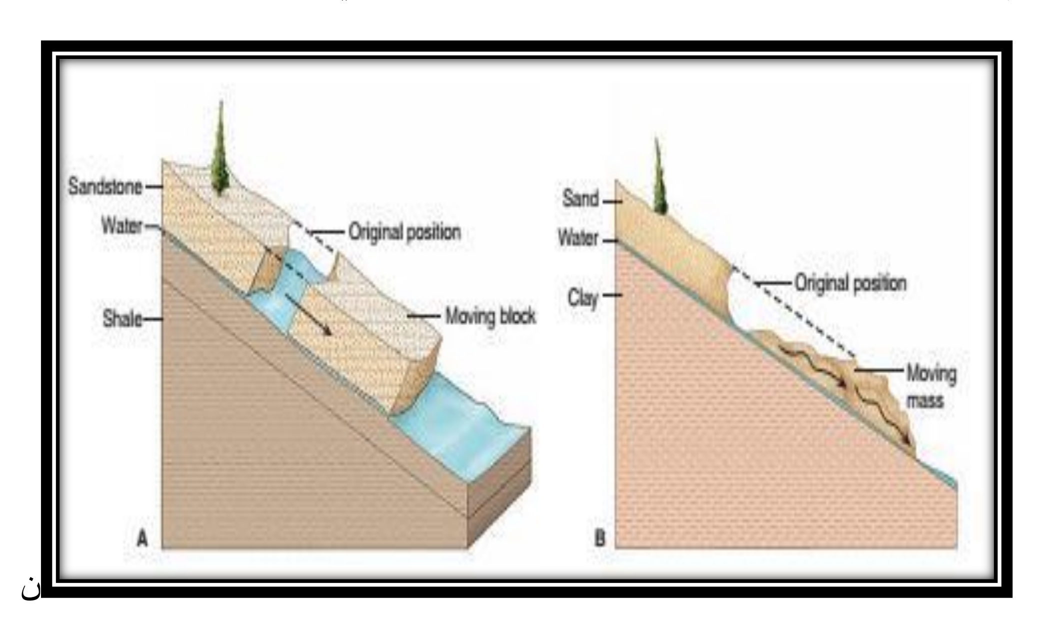
ويكون سقوط الحطام debris fall مماثلا لسقوط الصخور، ولكنه يتكون من خليط من الصخور والحطام الصخري بالإضافة إلي النباتات.

الانزلاقات الأرضية: landslides هى تحركات على سطح أو أكثر من أسطح الانهيار. وتكون أسطح الانزلاق مستوية تقريبا ومائلة، مثل أسطح التطبق أو أسطح الصدوع أو الفواصل. ويسمى الانزلاق انزلاقا انتقاليا، أما إذا كانت أسطح الانزلاق مقعرة سمى الانزلاق انزلاقا دورانيا، ويعرف أيضا بالتدهور.

الانزلاقات :lides ويشمل نوعين من الانزلاق هما :

١ـالانزلاق الصخري: rockslide وهو عبارة عن الحركة المفاجئة لكتلة صخرية منزوعة من الطبقات على المنحدرات.

٢- **وانزلاق الحطام**: debris slide وهو انزلاق الحطام الصخري على أسطح المنحدرات. وينتشر الانزلاق الصخري وانزلاق الحطام في المناطق الجبلية المرتفعة حيث تنشر الانحدارات الحادة. وعندما تحدث انهيارات صخرية ضخمة، فإن الراسب الناتج يتكون عموما من خليط غير منتظم من كتل صخرية مخلوطة بجلاميد يصل قطرها أحيانا إلي عدة أمتار.



ن

انزلاقات تربة او حطام

وتجمع الكسرات الصخرية المزواة هو منظر شائع عند سقوط الجروف الحادة. ويتراوح عادة حجم الحطام الصخري بين الرمل والجلاميد الكبيرة. ويسمى هذا الجسم من الحطام المنحدر للخارج عند أسفل الجروف والمنحدرات شديدة الميل بالركام talus.

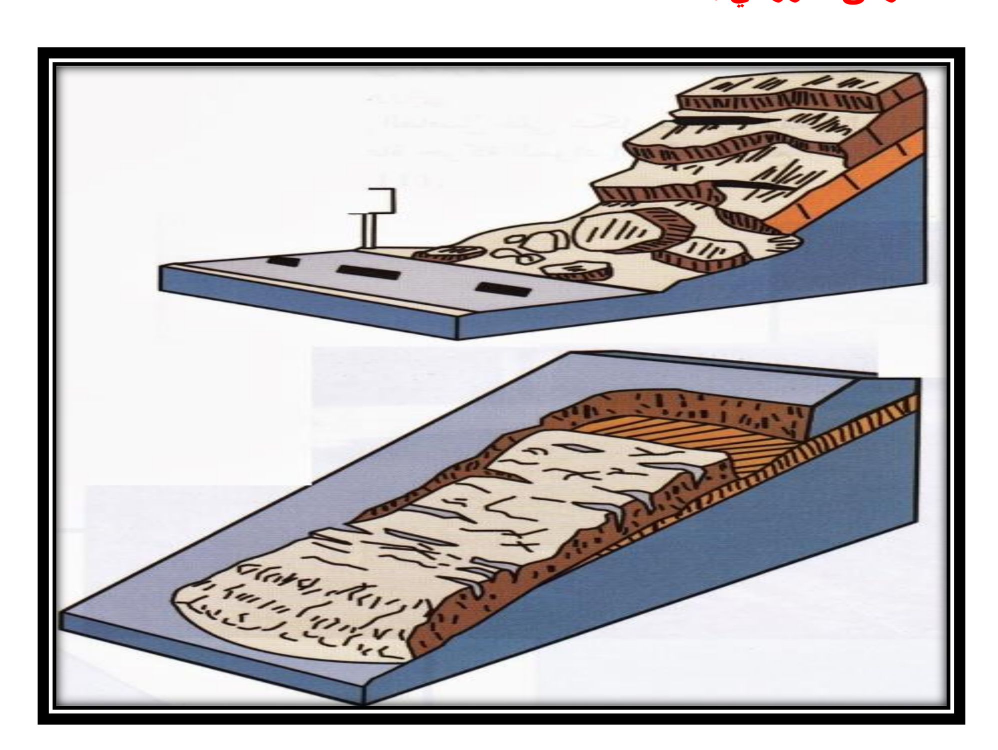
ويمثل انهيار المنحدرات الجنوبية والجنوبية الغربية للهضبة العليا لجبل المقطم مثالا على الانزلاقات الانتقالية والسقوط الصخري . وتتكون الهضبة العليا للمقطم من حجر جيري يتبع الإيوسين العلوي، ويحتوي على حفريات كبيرة وكثير من الفجوات الصغيرة، بالإضافة إلي طبقات من حجر الطين تحتوي على معدني المونتيمورلينيت والكاولينيت، وتقع مباشرة تحت صخور أساس bedrock مدينة المقطم. وقد حدث انهيار المنحدر في تلك المناطق بسبب الانزلاق الانتقالي لكتل كبيرة نزعت من الهضبة العليا، ولوجود فواصل رأسية تتسرب فيها المياه العذبة ومياه مجاري مدينة المقطم، والتي تعمل على انتفاخ طبقات حجر الطين .

التدهور slump وفيه تتحرك الصخور أو الحطام الصخري لأسفل وللخارج في حركة دورانية على سطح انزلاق يأخذ شكلا مقعرا لأعلى مثل الملعقة . وتميل عادة قمة الكتلة المنزلقة للخلف لتكون منحدرا معاكسا. وقد يكون التدهورمفردا أو في مجموعات، كما تتراوح التدهورات في الحجم بين إزاحات صغيرة تبلغ مترا أو مترين إلي تدهورات كبيرة معقدة تغطي مئات أو حتى آلاف الأمتار المربعة.

ويحدث عديد من التدهورات نتيجة لتعديل الشكل الهندسي لطوبوغرافية بعض المناطق أو أثناء إنشاء الطرق السريعة التي تسير بمحاذاة منحدرات الجبال. كما تلاحظ على جوانب الأنهار وشواطئ البحار حيث تعمل التيارات والأمواج على تقويض قاعدة المنحدر.



الانزلاق الدوراني .



الانزلاق الانتقالي.

ب – انسيابات الرواسب :

تعرف انسيابات الرواسب sediment fiows بأنها تحرك كتلي يشبه تحرك السوائل. وتتكون المواد المنسابة من كتل كبيرة متماسكة في حجم الجلاميد، كما قد تكون في حجم حبيبات الرمل أو الصلصال، كما قد تتكون من خليط من كل تلك المواد. وتتفاوت كمية الماء فيها، حيث تكون جافة أو رطبة أو مبتلة. وتتكون المواد المنسابة من مخاليط كثيفة من الرواسب والماء (أو من الراسب والماء والهواء)، حيث يكون الانسياب معتمدا على الراسب في حركته، ولا يحدث انسياب في حالة عدم وجود راسب. وقد تكون الانسيابات حبيبية أي تكون الحركة تحت ظروف جافة تقريبا. والخاصية العامة التي تشترك فيها كل تلك الانسيابات أن حبيبات الرواسب تتحرك جميعا تحت تأثير الجاذبية الأرضية. ففي حالة الانسيابات الحبيبية تعمل الحبيبات مثل الموائع نتيجة للضغط الناشئ عن تفاعل الحبيبات.



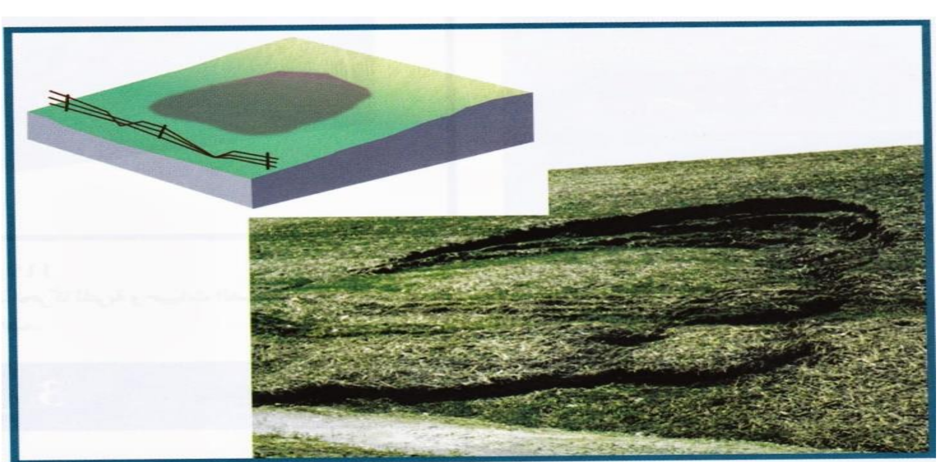
انسيابات الرواسب

ويمكن تصنيف انسيابات الرواسب بناء على الطريقة التي تتحرك بها إلي: انسيابات موائع fluidal flows أو انسيابات مواد لدنة، حيث يعرف الانسياب حينئذ بالانسياب الكتلي mass flow. ويمكن اعتبار هذين النوعين من انسيابات الرواسب أنهما يمثلان طرفي سلسلة متصلة من الانسيابات. ويحدد تركيز الرواسب وميكانيكية الانسياب نوع الانسياب الذي قد يحدث تحت ظروف معينة. وقد تتغير ميكانيكية انسياب ما خلال تقدمه. ومن المعروف أن معظم الكتل الضخمة من الرواسب التي تتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية، تتحرك بأكثر من ميكانيكية واحدة.



الانسياب الرُّكامي عبارة عن لسان متحرك مكون من خليط من الطمي والتربة والصخور والماء. وهو يشبه الخليط الأسمنتي الطري.

الانسياب الركامي



يتخذ هذا الانسياب الأرضي شكل لسان صغير على منحدر بطول طريق سريع تم تعبيده حديثًا . وهو يتكون من المواد الغنية بالطين بعد فترة من المطر الغزير . لاحِظ التدهورَ الصغير عند مقدمة الانسياب الأرضي .

الانسياب الارضي

وتعتمد الطريقة التي تنساب بها الرواسب في درجات حرارة أعلى من درجات التجمد على:

(١) نسبة المواد الصلبة والماء والهواء.

(٢) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرواسب.

تقسيم انسيابات الرواسب إلي مجموعتين اعتمادا على نسبة الراسب وهما:

(١) انسياب الطين المائع slurry flow وهوكتلة متحركة من راسب مشبع بالماء.
(٢) انسياب حبيبي granular flow وهو خليط من الراسب والهواء والماء، ولكن على خلاف انسياب الطين المائع فإنه يكون غير مشبع بالماء، حيث يعتمد وزن الراسب المنساب بالكامل على تلامس الحبيبات ببعضها البعض أو التصادم بين الحبيبات.

وتشمل كلتا مجموعتي الانسياب السابقتين عدة أقسام بناء على سرعة انسياب الرواسب، فالزحف creep وهو نوع من الانسياب الحبيبي البطئ جدا، ويقاس بالمليمترات أو السنتيمترات كل عام، بينما يقاس هيار الحطام debris avalanche بالكيلومترات في الساعة. وفي هذا التصنيف للانسيابات الرسوبية، فإن الحدود الموضوعية بين هذه العمليات تقريبية فقط وتعتمد على توزيع حجم الحبيبات وتركيز الراسب وعوامل أخرى. وفيما يلي وصف لأنواع الانسيابات الرسوبية.

١ – انسيابات الطين المائع (الردغة):

يكون خليط الراسب في انسيابات الطين المائع كثيفا إلي درجة أن الجلاميد الكبيرة قد تصبح معلقة فيها، وتنساب بالدحرجة، وعندما يتوقف الانسيابات تبقى الحبيبات الناعمة والخشنة مختلطة ببعضها.

دفق التربة: تعرف الحركة البطيئة جدا للتربة والحطام الصخري (الأديم) regolith المشبع بالماء أسفل المنحدرات بدفق التربة solifluction وتحدث هذه الحركة في المناطق التي يزيد ارتفاعها عن خط الثلج الدائم، حيث يتجمد الحطام الصخري القريب من السطح بصفة دائمة، وقد يمتد التجمد إلي أعماق تصل إلي ٤٠٠متر، ويطلق عليه اسم الصقيع الدائم permafrost، وتعلوه طبقة رقيقة ينصهر فيها الجليد في الصيف ويتجمد في الشتاء، وعند انصهار الجليد في الصيف تصبح هذه الطبقة السطحية مشبعة بالماء الذي لا يتسرب منها إلي أسفل لوجود الجمد الدائم تحته، ويؤدي ذلك إلي عدم استقرار هذه الطبقة السطحية وانسيابها أو زحفها في اتجاه ميل السطح .

تدفق التربة



انسياب الحطام: يشمل انسياب الحطام debris flow تحرك حطام صخري غيرمتماسك إلي أسفل المنحدرات، حيث يكون حجم معظم الحبيبات أكبر من حجم الرمل، وتتحرك بسرعات تتراوح بين متر واحد فقط في العام إلي أكثر من كيلومتر واحد في الساعة. وفي بعض الأحيان، يبدأ انسياب الحطام بتدهور أوانزلاق الحطام، ثم يستمر الجزء السفلي منه في الانسياب لأسفل المنحدرات . وبمجرد بدء انسياب الحطام، فإنه يتحرك على امتداد مجرى مائي ثم ينتشر على سطح مروحة طمية حيث يتماسك كراسب رديئ الفرز.



تدفقات حطام

ويكون لرواسب انسياب الحطام مقدمة على شكل لسلن، كما يكون سطحها غير منظم بالمرة، مع وجود مرتفعات صغيرة (حيود) ومنخفضات متحدة المركز. ويصاحب انسيابات الحطام عادة فترات سقوط أمطار شديدة للغاية، مما يؤدي إلي أن تصبح الأرض مشبعة بالماء بدرجة كبيرة.

انسياب طيني: يعرف انسياب الحطام الذي يكون محتواه من الماء يكفي لزيادة ميوعته بدرجة عالية بانسياب طيني – mudflow بمعنى أن مصطلح الانسياب الطيني مرادف لانسياب حطام سريع الحركة. أن مدى سرعة الانسياب الطيني يقع عند الحد الأعلى لمدى سرعة انسياب الحطام (أكثر من ١ كيلو متر في الساعة تقريباً). وعموما فإن معظم الانسيابات الطينية تكون سريعة الحركة وتميل لأن تتحرك بسرعة على امتداد قاع الوادي .

وإذا فحصنا رواسب الانسياب الطيني، فسنجد أن محتواها يتراوح بين خليط غليظ القوام مثل الأسمنت حديث الصب إلي خليط رقيق القوام أكثف قليلا من الماء المحتوي على كثير من الطين. فبعد سقوط الأمطار بغزارة على أخدود خانق في منطقة جبلية، فإن الانسياب الطيني يبدأ على هيئة مجرى مائي طيني يستمر في التقاط الرواسب المفككة حتى تصبح مقدمته مثل سد متحرك من الطين والدبش rubble، وممتدا إلي جانبي الوادي ومندفعا بقوة الماء المنساب وراءه. وعند

الوصول إلي منطقة مفتوحة عند مقدمة الجبل، فإن السد المتحرك ينهار ويصب الماء وينساب فوق السد المنهار وحوله، وينتشر الطين المختلط بالجلاميد على هيئة فريشة رقيقة تأخذ أحيانا شكل المروحة.



تدفّق طيني

أدّت أمطار غزيرة تساقطت في جنوب أستراليا إلى حدوث تدفّق طيني.

وفي المناطق ذات المناخ الرطب، حيث تتغطى جوانب البراكين النشطة شديدة الانحدار بطبقات التيفرا (الفتات الناري pyroctasts غير المتماسك المتكون من مواد صلبة بركانية من اللابة الحية نفسها، بالإضافة إلي البركانيات السابقة الخروج) والحطام البركاني، في أعقاب سقوط أمطار أو ذوبان جليد تندفع هذه المكونات على هيئة انسياب طيني من حطام بركاني غير متماسك يحتوي على الماء، وتعرف باللاهار lahar وهى كلمة معربة من الإندونيسية، ومن أمثلة ذلك ما سبق أن أوضحناه في أرميرو بكولومبيا.

<u>٢ – الانسيابات الحبيبية:</u>

تكون الرواسب في الانسيابات الحبيبية جافة إلي حد كبير، مع وجود هواء يملأ الفراغات، كما قد تكون مشبعة بالماء ولكن يسمح حجم الحبيبات وشكلها للماء بالهروب بسهولة.

<u>الزحف والكولوفيوم:</u> إن أبطأ تحرك كتلي هو المعروف بالزحف creep، حيث تحدث حركة بطيئة غير محسوسة للغطاء الصخري لأسفل التلال بمعدل يتراوح بين ١مم إلي ١٠سم تقريبا في السنة، تبعا لنوع التربة والمناخ وشدة الانحدار وكثافة النباتات الموجودة به. ويحدث الزحف عموما بمعدلات بطيئة جدا لدرجة لا يمكن ملاحظتها، إذ إن القياسات الدقيقة لإزاحة الأجسام على المنحدرات مثل أعمدة الهاتف والأشجار تسجل هذه المعدلات البطيئة . وكما هو متوقع فإن معدلات الزحف تكون أعلى المنحدرات الحادة أكثر منها على المنحدرات اللطيفة. وهناك عديد

من السباب التي تؤدي إلي الزحف، مثل تكون الجليد وذوبانه ممايسبب ارتفاع وهبوط الحبيبات ، وكذلك قد يتغير حجم حبيبات المعدن بسبب ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة دون أن يحدث تجمد. كما يؤثر النشاط الحيواني في عملية الزحف، حيث تعمل الديدان والحشرات والحيوانات الزاحفة الأخرى على إزاحة الحبيبات، كما تفعل الحيوانات على سطح الأرض حاليا. وكذلك عندما تذوب بعض المعادن في الماء، فإنها تترك فراغات في صخر الأساس، حيث يكون هناك ميل لأن تملأ بالمواد من أعلى المنحدرات.

وتسمى الرواسب غير المتماسكة والتي تتحرك أساسا نتيجة الزحف على المنحدرات بالكولوفيوم (رسوبيات متراكمة) colluvium. وتميل الحبيبات في هذه الرواسب لأن تكون مزواة وينقصها الفرز sorting الواضح. وتساعد هذه الصفات عموما في التمييز بين الكولوفيوم والرواسب المتكونة بواسطة المياه المنسابة أو الهواء، والتي تتكون عادة من حبيبات مستديرة وترسبت في طبقات قد تم فرزها.

الانسيابات الترابية: الانسياب الترابي earthflow هو أحد معالم الانهيال الكتلي الشائعة وخاصة في المناطق الجبلية، وهو انسياب حبيبي تتراوح سرعته بين متر واحد في اليوم إلي عدة مئات من الأمتار في الساعة . وقد تبقى الانسيابات الترابية نشطة لعدة أيام أو شهور أو حتى سنوات. وقد تكون عرضة للتحرك مرة أخرى بعد توقف الحركة لبعض الوقت. وتتكون الانسيابات الترابية عموما، مثل انسيابات الحطام، من غطاء صخري في حجم حبيبات الغرين أو الصلصال تم تجويته، ويحدث على منحدرات تتراوح بين اللطيفة والمتوسطة (٢ إلي ٣٥). وتحدث الانسيابات الترابية حينما تكون الأرض مشبعة بالماء، على فترات متقطعة على الأقل. وعموما تصاحب الانسيابات الترابية فترات من سقوط الأمطار الشديدة.

ويأخذ الانسياب الترابي شكل اللسان الطويل الضيق، وتكون له مقدمة مستديرة ومنتفخة. وتتراوح الانسيابات الترابية بين عدة امتار طولا وعرضا، وأقل من متر واحد عمقا، إلي أكثر من عدة مئات من الأمتار عرضا، وأكثر من ١كم طولا، وأكثر من ١٠ متر عمقا.

الانسياب الحبيبي: إذا مشي شخص على قمة أحد الكثبان الرملية واقترب جدا من المنحدر الحاد الذي يقع في الناحية المدابرة لاتجاه الريح، فإن خطوة هذا الشخص تكون قد تسببت في بدء سقوط حبيبات الرمل منسابة أسفل وجه الكثيب الرملي. ويشرح هذا المثال، أحد أنواع الانهيال الكتلي والمعروف بالانسياب الحبيبي granular flow والتي تشمل تحرك راسب جاف أو شبه جاف مكون من حبيبات مع وجود هواء يملأ الفراغات المسامية بينها. ويحدث مثل هذا الانسياب الحبيبي طبيعياً، عندما تكون حبيبات الرمل المتراكمة انحدارا يزيد عن زاوية الاستقرار، مما يؤدي إلي حدوث انهيار. وتتصادم الحبيبات المتحركة خلال عملية الانسياب بكثرة. ويتراوح معدل سرعات الراسب المتحرك نموذجياً بين ٠,١ إلي ٣٥ متر في الثانية.

<u>هيارات الحطام</u>: يكون هيار الحطام debris avalanche الضخم والمتحرك بسرعة حدثا نادرا ومثيرا. ويتحرك هذا النوع من الانسياب الحبيبي بسرعة عالية، وقد يكون شديد التدمير . وكثيرا ما يتضمن هيار الحطام كتلا ضخمة من الصخر المتساقط والحطام الذي يتكسر ويسحق عند ارتطامه، ثم يستمر في الحركة أسفل المنحدرات لمسافات كبيرة غالبا.

ويكون لسقوط الصخور الضخمة والذي يؤدي لحدوث هيارات الحطام أكبر تأثير على الإنسان في المناطق الجبلية المأهولة بالسكان مثل جبال الألب والأنديز. فلقد حدث في سبتمبر عام ١٧١٧م أن سقطت كتلة ضخمة من الصخر والجليد على مثلجة تريولية Triolet Glacier من قمة جبل قرب مون بلان Mont Blanc على امتداد الحدود الإيطالية الفرنسية، مما أدي إلي طحنها عند الاصطدام. ولقد تحرك الحطام المتكسر بسرعة لأسفل وعلى امتداد الوادي ولمسافة ٧كم قبل أن تتوقف مقدمته، وعلى ارتفاع أقل ١٨٦٠ مترا من مكان انفصال تلك الكتلة. وقد قدرت سرعة الكتلة عند الاصطدام بحوالي ٣٢٠كم في الساعة. وعند اصطدام كتلة الحطام بأرض الوادي الرئيسي، فإن القوة الدافعة حملتها إلي أعلى جدار للوادي المقابل إلي ارتفاع بلغ ٦٠ مترا على الأقل. وقد غمر الحطام عند هذه النقطة قريتين صغيرتين بالجبل وقتل كل السكان والدواب، حيث قدرت سرعة الهيار بحوالي ١٢٥كم/ ساعة على الأقل. وقد استغرق الزمن الكلي لرحلة الهيار على امتداد السبع كيلو مترات بين دقيقتين وأربع دقائق. ومن الواضح من زمن هذه الحركة السريعة أن النجاة من هيارات الحطام الكبيرة والمدمرة تكون نادرة الحدوث.

وحيث إن هيارات الحطام الكبيرة نادرة الحدوث ومن الصعب دراستها أثناء الحركة، فتكون نتائج ملاحظتها قليلة. وتعزي الحركة الشديدة السرعة إلي أن الحطام كان يعلو طبقة من الهواء المضغوط. فإذا كانت هذه الملحوظة صحيحة، فإن هيارات الحطام تتحرك مثل المركبات التي تجري على اليابس أو الماء فوق هواء مضغوط يخرج من مروحة كبيرة. وقد يقلل الهواء المضغوط بين الحطام المتحرك من الاحتكاك بين الجزيئات ويسبب أن تتصرف الكتلة مثل مادة عالية الميوعة. وتتعرض جوانب البراكين الطباقية غير المستقرة للانهيار مما يؤدي إلي حدوث هيارات حطام.

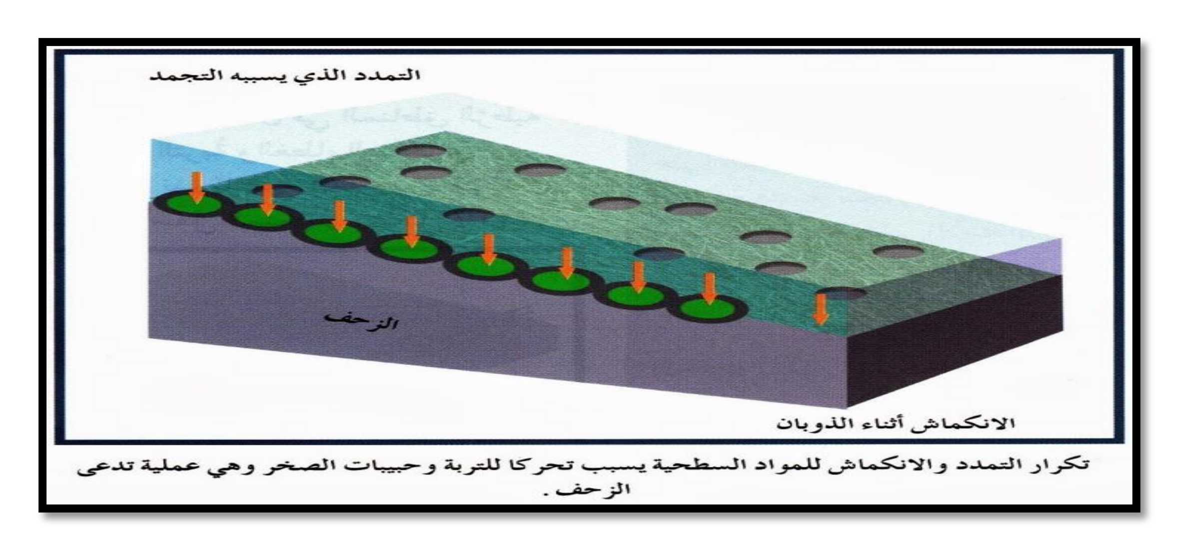
<u>ج – الانهيال الكتلى فى المناخات الباردة :</u>

ينشط الانهيال الكتلي بصورة ملحوظة عند الارتفاعات العالية فوق خط الثلج الدائم وفي المناطق شديدة البرودة عند خطوط العرض العالية. وفي هذه المناطق يغطي الثلج معظم صفحة الأرض طوال العام بأرضية متجمدة ويكون تأثير الصقيع مهماً كعملية جيولوجية.

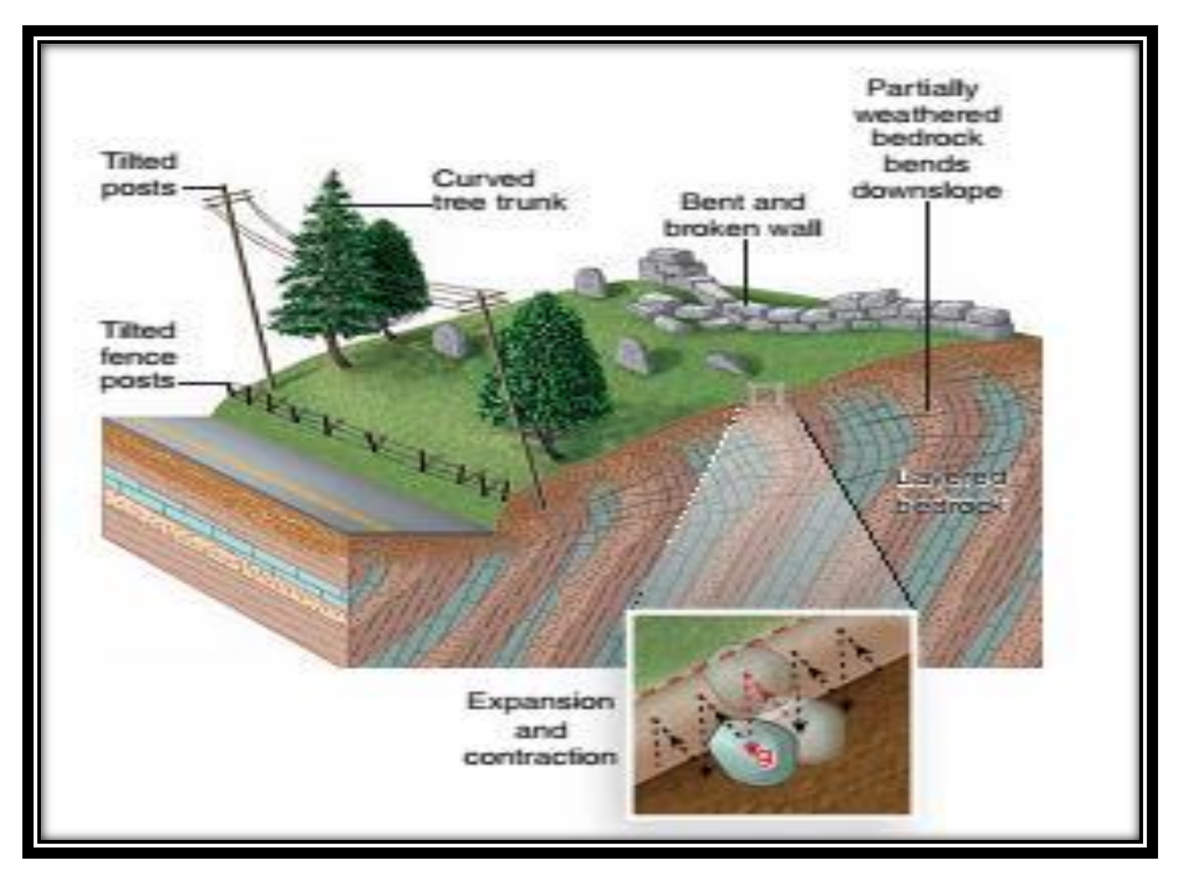
<u>١ – الانتفاخ الصقيعى والزحف :</u>

عندما يتجمد الماء يزداد حجمه ويدفع الجليد الموجود في الغطاء الصخري المشبع بالماء سطح الأرض إلي أعلى. ويسمى رفع الغطاء الصخري لأعلى نتيجة لتجمد الماء بالانتفاخ الصقيعي frost heaving .

ويؤثر الانتفاخ الصقيعي كثيرا على زحف الرواسب إلي أسفل المنحدرات في المناخات الباردة. وعند حدوث التجمد يرتفع سطح الأرض في اتجاه عمودي على المنحدر. وعند ذوبان الجليد، تميل كل حبة من الرواسب لأن تسقط رأسيا لأسفل تحت تأثير الجاذبية. وهكذا تكون حركة الحبيبة النهائية خلال كل دورة من التجمد والانصهار، لمسافة قصيرة جدا لأسفل على المنحدر . والنتيجة النهائية لهذه الدورات المتكررة من التجمد والانصهار هى الزحف creep ولكن ببطء لأسفل على المنحدرات.



تكرار التمدد والانكماش للمواد السطحية يسبب تحركا للتربة وحبيبات الصخر وهي عملية تدعى الزحف .



الزحف.

٢ – المثالج الصخرية :

تعتبر المثلجة الصخرية rock glacier إحدى المعالم المميزة لعديد من المناطق الجبلية الجافة. وهى عبارة عن لسان من حطام صخري ردئ الفرز ملتحم بالجليد، يتحرك ببطئ لأسفل على المنحدرات بطريقة مشابهة للمثالج. وتنشأ المثالج الصخرية عموما أسفل الجروف الحادة والشديدة الانحدار والتي تعتبر مصدرا للحطام الصخري. وقد يصل سمك المثلجة الصخرية النشيطة حوالي ٥٠ مترا أو أكثر، وقد تتحرك بمعدلات تصل إلي حوالي خمسة أمتار في العام. وتكون المثالج الصخرية شائعة عموما في سلاسل الجبال المرتفعة مثل جبال الألب والأنديز.



المثالج الصخرية

د – الانـهيال الكتلى تحت الماء :

امتد البحث عن النفط إلي الرفوف والمنحدرات القارية. وقد أوضحت عمليات الاستكشاف البترولي أن الانهيال الكتلي تحت الماء subaqueous mass wasting شائع إلي أبعد الحدود، وأنه أحد العوامل المهمة لنقل الرواسب على قاع المحيط، كما اكتشف أيضا وجود انهيال كتلي في البحيرات. وكما هو الوضع على اليابس، فإن الصخور والرواسب تتحرك تحت تأثير الجاذبية كلما كان هناك منحدرات تحت مائية. وتؤدي انهيارات المنحدرات تحت الماء إلي تكون تيارات كثيفة تنساب في أعماق البحار. وتتحرك تحت تأثير الجاذبية، وتعرف بتيارات العكر turbidity currents . وتيارات العكر هى نوع من انسياب الرسوبيات تحت الماء، حيث تتحرك الرواسب في الوديان العميقة ذات الجوانب شديدة الانحدار والمعروفة بالأخاديد الخانقة canyons تحت البحرية، حيث تتكون رواسب العكر علمناطق المرتفع القاري continental rise . كما قد يتسبب الانهيال الكتلي تحت الماء في تكون جزء أساسي من رواسب الرف القاري continental shelf خاصة في المناطق القريبة من الأنهار الكبيرة.

وقد ظهرت الدراسات الحديثة للمحيط الأطلنطي شرق أمريكا الشمالية، أن مساحات واسعة من قاع المحيط قد تعرضت لتدهورات وانزلاقات وانسيابات تحت بحرية . وقد غطت بعض الانزلاقات الكبيرة مساحات تبلغ أكثر من ٤٠٠٠٠كم٢، وتصل إلي أعماق تزيد عن ٥٤٠٠ متر. وتؤثر الانزلاقات عموما في الخمسين مترا العليا من رواسب قاع المحيط.

كما تتكون في الدلتاوات البحرية الكبيرة عدة مظاهر سطحية ورواسب ترجع إلي انهيارات المنحدرات. ففي مثل هذه البيئيات تحت المائية قد يحدث الانهيار على منحدرات لطيفة جدا (في حدود ١)، ومن الأمثلة ذلك دلتا المسيسبي، وعموما فإن الانزلاقات وانسيابات الرواسب تكون نشيطة للغاية عند مقدمة الدلتا.

ويظهر طوبوغرافية الحواف السفلية المغمورة لبراكين هاواي ، حدوث انهيارات أرضية ضخمة متكررة على جوانب البراكين، وتشمل انسيابات وانزلاقات للركام على هيئة كتل.

تغير المنحدرات مع الوقت:

- لكي يحدث التحرك الكتلي يجب ان تتواجد منحدرات تتحرك عليها الصخور و الركام الصخري ، فنشوء الجبال و انشطة البراكين هي التي ولدت هذه المنحدرات عبر رفع الكتل الارضية.

- تحدث معظم التحركات الكتلية السريعة و المفاجئة في الجبال الوعرة حديثة التكوين ، والتي تتعرض للتعرية السريعة بواسطة الانهار ، فتظهر منحدرات شديدة و غير مستقرة وتقوم عمليات التعرية و التحرك الكتلي بخفض ارتفاع الارض.

- مع الوقت تتحول الارتفاعات الحادة الى ارض منخفضة ، لذالك تتراجع قوة التحرك الكتلي القوية و تقتصر على تحركات صغيرة غير خطرة.

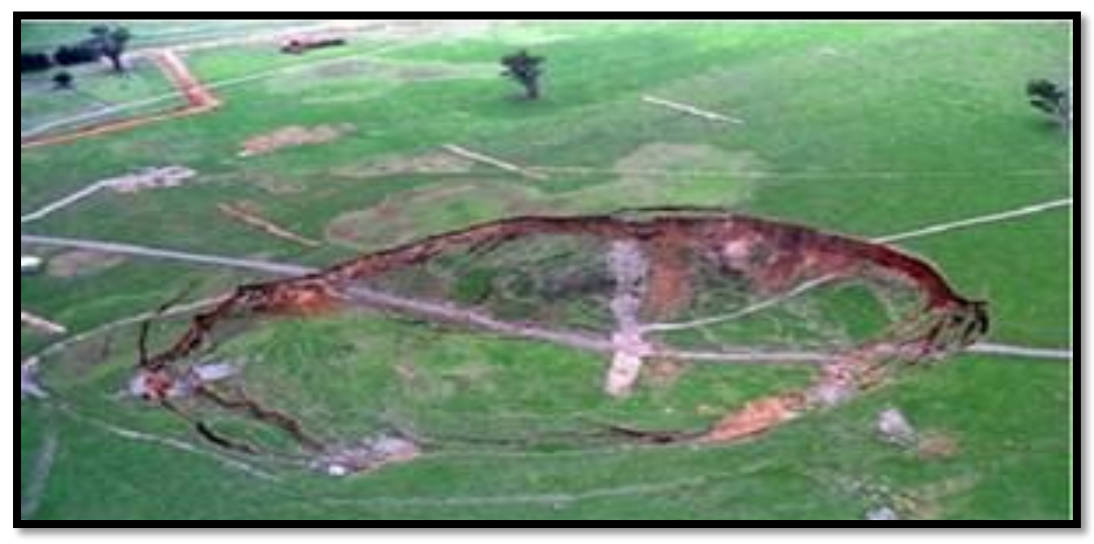
- الانـهيال الكتلى وتكتونية الألواح :

يوضح إسقاط الانهيارات الأرضية الكبيرة في العالم على خريطة الكرة الأرضية، أن معظمها يتركز في أحزمة تقع بالقرب من حدود الألواح المتقاربة. **ويرجع ذلك إلي سببين:**

١ – تقع أعلى سلاسل الجبال في العالم عند حدود الألواح المتقاربة أو بالقرب منها، حيث تتميز هذه الجبال بالمنحدرات الحادة، مثل جبال الأنديز بأمريكا الجنوبية. وتتكون معظم صخور هذه السلاسل الجبلية من طبقات بها عديد من الفواصل والتي تكسرت بشدة وتشوهت أثناء رفعها، بحيث تكون كل من أسطح الفواصل وأسطح التطبق نطاقات محتملة للانهيار. وبالإضافة إلي ذلك، تقع علىامتداد الحدود المتقاربة وعلى امتداد هذه الأحزمة أعلى البراكين الطباقية في العالم، والتي تميل منحدراتها بزاويا حادة، حيث يتواجد الرماد البركاني الذي تنشأ عنه الانسيابات الطينية بسهولة.

٢ – تحدث أيضا على امتداد هذه الألواح المتقاربة زلازل كبيرة، حيث تنزلق حدود الألواح بالنسبة لبعضها البعض في نطاقات الاندساس، كما تنشأ أيضا الزلازل مصاحبة للصهارات المتحركة لأعلى التي تغذي الانبثاقات البركانية على سطح الأرض.

وقد تصاحب التحركات الكتلية أيضا الألواح المتباعدة، خاصة عند المنحدرات الحادة المتكونة في وديان الخسف القارية والتي تصاحب بدء عملية التباعد. وقد حدثت انهيارات تحت بحرية في وادي الخسف في حيد وسط المحيط الأطلنطي، وهو موضع لتباعد الألواح أيضا. كما أن حدود الصدع الناقل، مثل صدع سان أندرياس، هى أيضا مواقع لتحركات كتلية متكررة، حيث تنشأ المنحدرات الحادة على امتداد الصدع ويكثر حدوث الزلازل. وعند مقارنة الظروف السابقة مع المناطق البعيدة عن حدود الألواح سواء الحالية أو السابقة، حيث تكون الطوبوغرافية منخفضة نسبيا، فإن تشوه الصخور يكون أقل نسبياً وتكون المنحدرات الطبيعية والزلازل نادرة.



إ نخساف ارضي

ـ تجنب أو تخفيف آثار الانهيال الكتلى :

قد تكون بعض التحركات الكتلية كبيرة أو لا يمكن تجنبها، ولذلك يجب أن نتعلم كيف نتعايش معها ونتجنب آثارها أو منعها خاصة الصغير منها أو التي تحدث نتيجة النشاط الإنسيابي.

وتشمل الطرق الرئيسية لإعادة الاستقرار إلي بعض المناطق المعرضة للانهيارات الأرضية:

(١) تجنب الإنشاءات في المناطق المعرضة للتحركات الأرضية.

(٢) تجنب إنشاء الجسور (الكباري) فوق المناطق غير المستقرة.

(٣) صرف المياه أو ضخها من الرواسب المشبعة بالمياه على المنحدرات المعرضة للزحف.

(٤) إنشاء حوائط حاجزة أو تراكيب مماثلة مع مراعاة ألا تقوم هذه الحوائط بحجز الماء أيضا.

(٥) محاولة تعديل زاوية الانحدار وجعلها مساوية لزاوية الاستقرار الطبيعية.

(٦) يمكن أحيانا حقن الأسمنت أو استخدام النسف بالمتفجرات لجعل المنحدرات أكثر استقراراً.

الفصل الحادي عشر: دورة الماء والأنهار

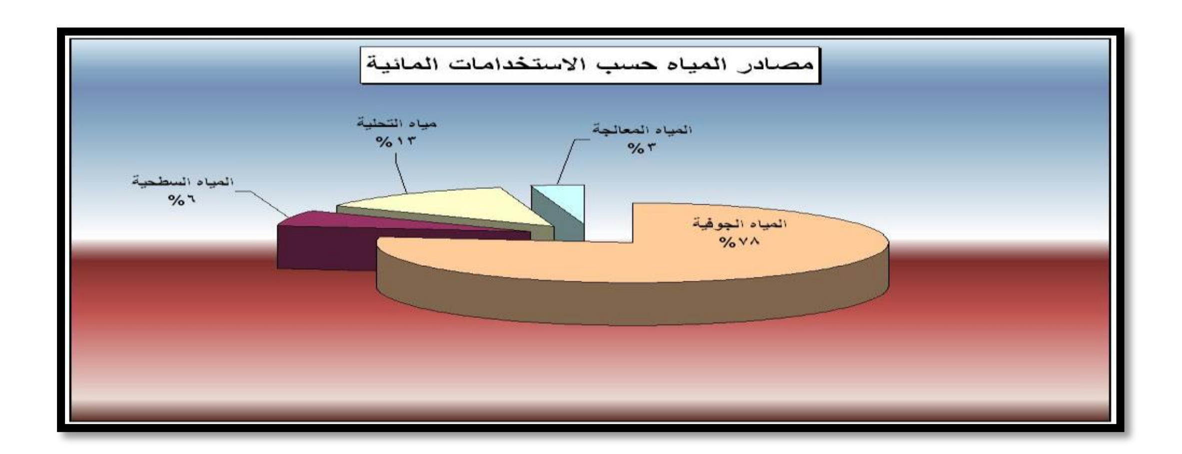


الماء عامل حيوي وأساسي لكل صور الحياة على الأرض. ولا يستطيع الإنسان البقاء على قيد الحياة لأكثر من عدة أيام دون ماء. وحتى النباتات والحيوانات الصحراوية تحتاج إلي الماء. وكمية الماء التي تحتاجها المدينة الحديثة أكبر بكثير مما تحتاجه المتطلبات البسيطة للحياة ، فالماء يستخدم بكميات ضخمة في الصناعة والزراعة واحتياجات المدن.

يقوم الجيولوجيون المتخصصون في علم المياه بدراسة حركة المياه وخصائصها، سواء الموجودة على سطح الأرض أو المخزونة بداخلها. ويعتبر الماء الجاري في الأنهار، وأيضا المتجمد في جليد المثالج عامل رئيسي في التعرية التي تساعد في تشكيل صفحة الأرض على القارات. كما أن الماء عامل أساسي في التجوية، حيث يعمل كعامل إذابة ونقل للمعادن الموجودة في الصخور والتربة. كما يتسرب الماء في صخور القشرة الأرضية ويكون خزانات مائية ضخمة. ويسبب الماء أيضاً كثيرا من الانزلاقات الأرضية وغيرها من صور التحرك الكتلي. وتتكون رواسب الخامات الحرمائية hydrothermal ore deposits نتيجة دوران الماء الساخن فوق الأجسام النارية وفي حيود وسط الامحيط mid – ocean ridges.

وقد أصبح **علم المياه (الهيدرولوجيا)** hydrology أكثر أهمية الآن، حيث يتزايد الطلب على الماء رغم الكميات المحدودة المتاحة منه. ولكي نحمي هذه الإمدادات فلابد أن نفهم ليس فقط أين يمكن أن يتواجد الماء؟ ولكن كيف يمكن أن نجدد مصادر وإمدادات المياه. ويمكننا في ضوء هذه المعلومات ان نستخدم الماء، دون أن نعرض تلك الإمدادات المستقبلية للخطر.

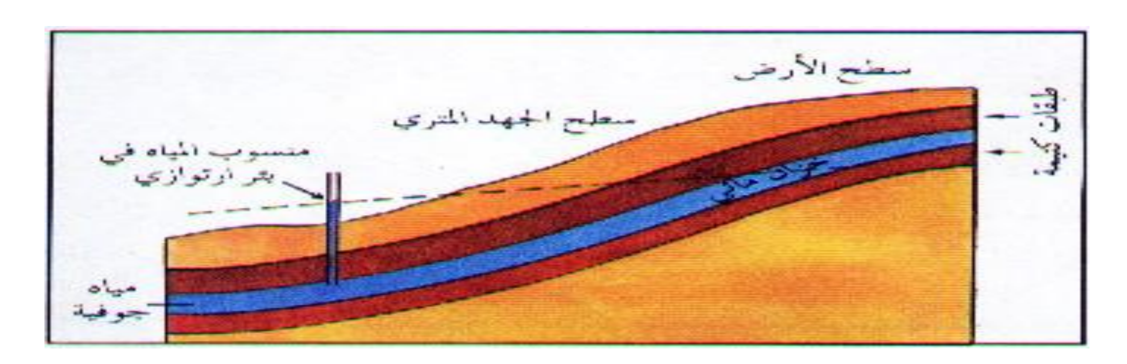




أولا: الانسيابات وخزنات المياه:

نشاهد الماء الجاري وهو ينتقل من مكان لآخر فوق سطح الأرض عبر الأنهار، كما يوجد مخزون من الماء على سطح الأرض في البحيرات والمحيطات. ولكن من الصعب رؤية الكميات الضخمة من المياه المخزونة في الغلاف الجوي للأرض، أو تلك التي توجد تحت الأرض. كما يصعب أيضا مشاهدة الانسيابات داخل تلك الخزنات أو خارجها. فعندما يتبخر الماء، فإنه يختفي عن النظر على هيئة بخار في الغلاف الجوي. وعندما يغوص ماء المطر في باطن الأرض، فإنه يصبح ماءً جوفيا groundwater، وهوكتلة من الماء المخزون تحت سطح الأرض، ويسمى أيضاً ماء تحت أرضي underground water.

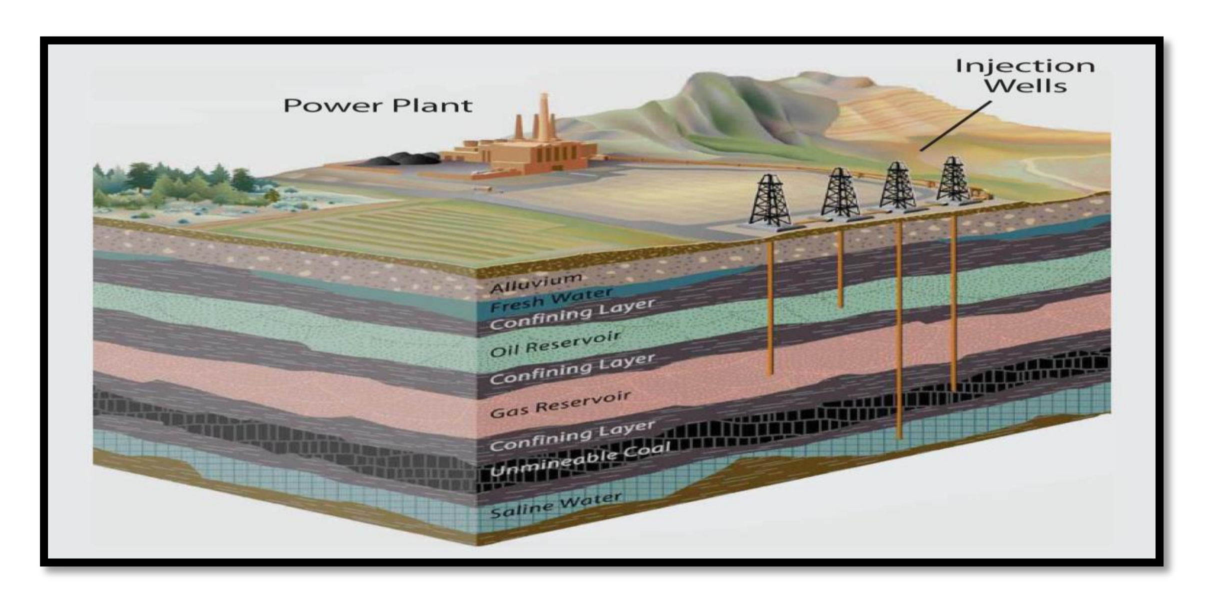
وتسمى كل البيئات التي يخزن فيها الماء **خزانات** reservoirs. ويطلق مصطلح خزان على مصدر الماء أو مكان تواجده. ومن المواضع الطبيعية الرئيسية لتخزين الماء البحار والمحيطات والمثالج glaciers القطبي والبحيرات والأنهار والغلاف الجوي والغلاف الحيوي. وتشمل الخزانات الأرضية البحيرات والأنهار والمياه الجوفية، بينما تعتبر المحيطات أكبر خزانات الماء على الأرض. وعلى الرغم من أن كمية الماء الكلية في الأنهار والبحيرات صغيرة نسبيا، إلا أن هذه الخزنات مهمة للإنسان، لأنها تحتوي على الماء الطبيعي الجاهز للاستخدام. وتبلغ كمية المياه الجوفية مائة ضعف كمية المياه الموجودة في الأنهار والبحيرات، إلا أن الكثير منها لا يستخدم نظراً لأن مياهها تحتوي على كميات كبيرة من المواد الذائبة.



خزان مائي جوفي



خزان أرضي



خزانات جوفية

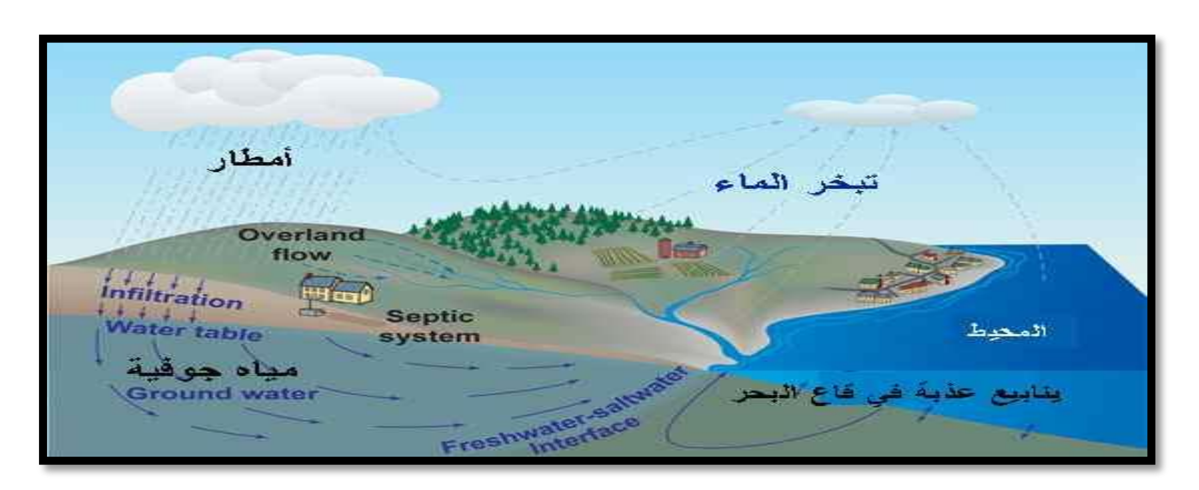
ويتدفق الماء إلي الخزنات من عدة مصادر منها الأمطار والأنهار، كما يتدفق ويفقد الماء من هذه الخزانات بطرق عديدة مثل التبخر. وحيث إن هناك حركة دائمة للمياه من وإلي الخزنات، فإذا تساوت كمية الماء المتدفق إلي الخزنات مع كمية الماء الخارج منها فإن حجم الخزان يبقى ثابتا، على الرغم من أن الماء يدخل ويخرج باستمرار.

وتبلغ كمية الماء الكلية التي يتم إمداد العالم بها حوالي ١,٤٦بليون كيلومتر مكعب، وهى كمية ضخمة تتوزع بين الخزانات المختلفة. وهذه الكمية من الماء ثابتة على الرغم من أن معدل انسياب الماء من خزان لآخر قد يتغير من يوم لآخر ومن عام إلي عام ومن قرن إلي قرن. ولا

يوجد على امتداد هذه الفترات الزمنية القصيرة أي إمداد أو فقد للماء الموجود في باطن الأرض، كما لا يوجد أي فقد ملحوظة للماء من الغلاف الجوي إلي الفضاء الخارجي للأرض.

١ – دورة الماء :

يتحرك الماء فوق سطح الأرض أو تحتها، أو يدور بين الخزانات الرئيسية على الأرض وهى المحيطات والغلاف الجوي واليابسة. ويسمى الدوران المستمر والدائم للماء من المحيط إلي الغلاف الجوي، ومن الأمطار إلي سطح اليابسة، ومن الصرف السطحي runoff للماء والمياه الجوفية إلي المجاري المائية (الأنهار أساسا)، ثم مرة أخرى إلي المحيط بدورة الماء hydrology cycle .



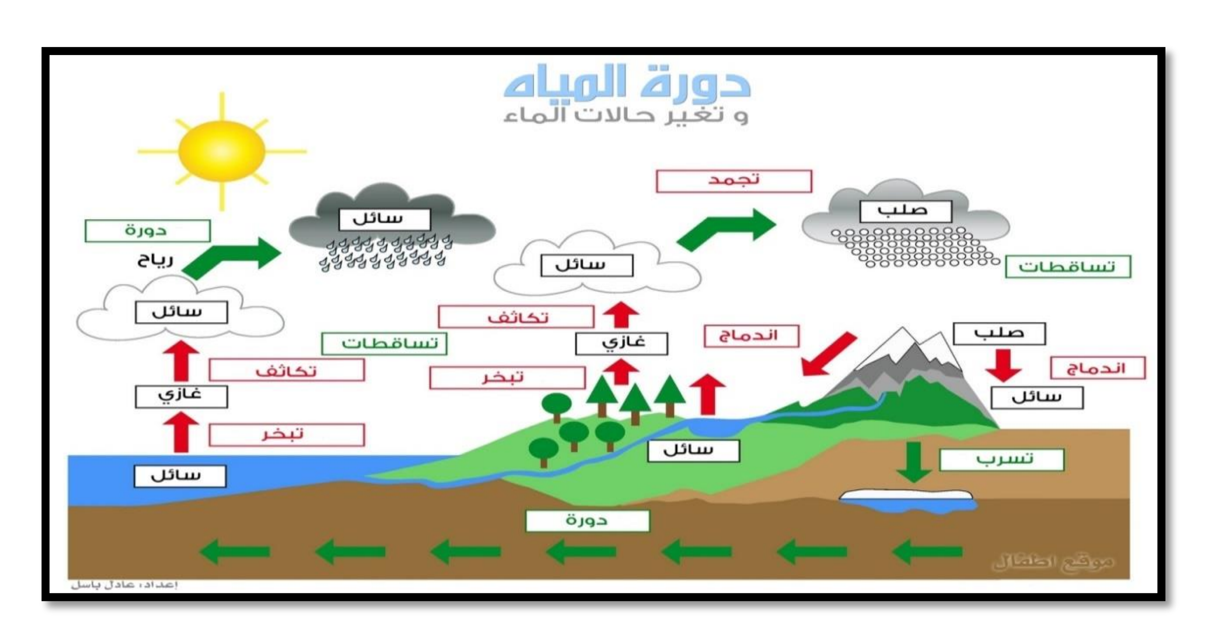
ويتميز الماء بقدرته على التحول بين الحالات الثلاثة للمادة وهى السائل (الماء) والغاز (بخار الماء) والصلب (الجليد)، وذلك تحت تأثير درجات الحرارة الموجودة فوق سطح الأرض. وتؤدي هذه التحولات إلي بعض الانسيابات الرئيسية من خزان إلي آخر في دورة الماء. وتقوم حرارة الشمس بدور القوة المحركة في دورة الماء، حيث تعمل على تبخير الماء من المحيطات، ثم تساعد في نقله كبخار ماء إلي الغلاف الجوي. ويتكثف بخار الماء تحت ظروف مناسبة من الحرارة والرطوبة إلي قطرات من الماء بالغة الصغر تكون السحب، ثم تسقط في النهاية كأمطار أو جليد فوق المحيطات والقارات.



ويتخلل بعض الماء الذي يسقط على اليابسة إلي الأرض بالتسرب infiltration، وهى العملية التي يدخل فيها الماء إلي الصخر أو التربة عبر الشقوق أو بعض المسام الصغيرة الموجودة بين الحبيبات. ويتبخر بعض الماء الجوفي من سطح التربة، بينما تمتص جذور النباتات جزءا آخر وتحمله إلي الأوراق لتعود إلي الغلاف الجوي أثناء عملية النتح (عرق النبات) transpiration وهو خروج بخار الماء من النبات. وقد يعود بعض الماء الجوفي إلي السطح من خلال الينابيع.

ويجري ماء المطر الذي لا يتسرب في الأرض فوق سطح الأرض ليتجمع تدريجيا في المجاري المائية والأنهار. وتسمى كمية ماء المطر التي تجري وتنساب فوق سطح الأرض بالجريان السطحي runoff. وقد يتسرب بعض ماء الصرف السطحي في الأرض أو يتبخر من الأنهار والبحيرات، ولكن ينساب معظم ماء الصرف السطحي إلي البحار والمحيطات.

وقد يتحول الثلج المتساقط إلي جليد في المثالج، والتي تعيد بدورها الماء إلي المحيطات بالانصهار والجريان السطحي، أو إلي الغلاف الجوي بالتسامي sublimation وهو التحول من الحالة الصلبة (جليد) مباشرة إلي الحالة الغازية (بخار الماء). ويعود جزء كبير من الماء الذي يتبخر من المحيطات إليها كماء مطر أو ثلج أو جليد. وتتساقط بقية الماء فوق اليابسة حيث يتبخر أو يعود إلي المحيطات كجريان سطحي. وتعرف عملية سقوط الماء على الأرض (محيطات ويابسة) من الغلاف الجوي في صورة أمطار أو ثلج بالتساقط precipitation، وتقاس بما يقابلها من ماء سائل دون اعتبار لصورة سقوطه.



كيف تتوازن الخزانات مع بعضها البعض نتيجة الانسيابات الكلية في النظام الأرضي الحالي والذي يتأثر بالنشاط الإنساني؟

فمثلاً، يحصل سطح اليابسة على الماء نتيجة التساقط وتفقد كمية الماء نفسها نتيجة التبخر والصرف السطحي. ويحصل المحيط على الماء من الصرف السطحي والتساقط، وبينما يفقد

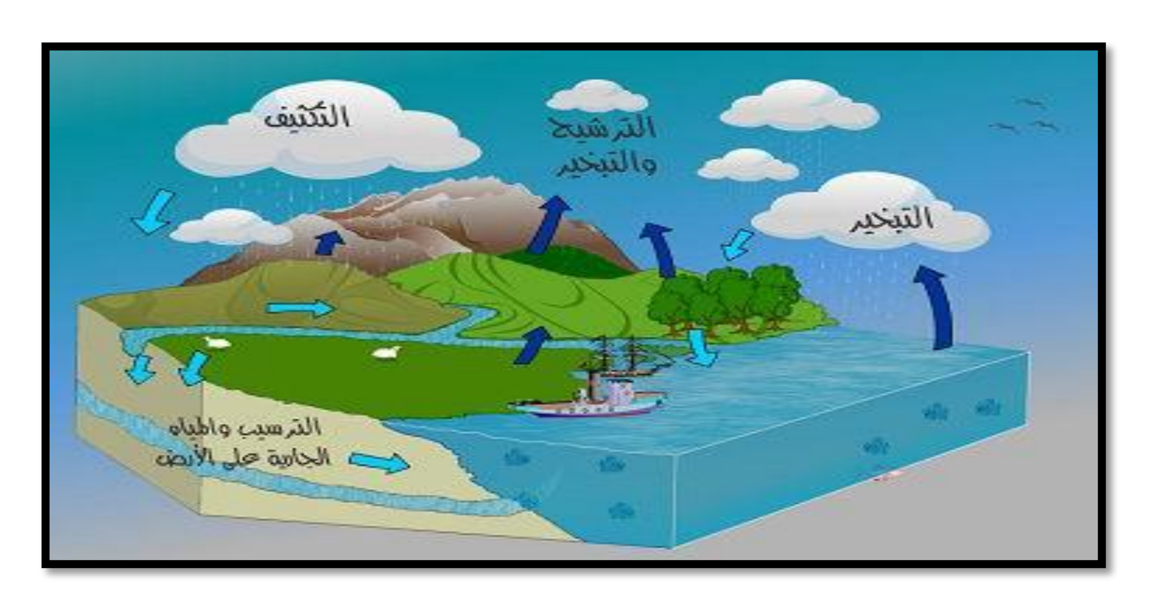
الكمية نفسها بالبخر. وبالتالي تبقى كمية الماء في كل خزان ثابتة تقريبا. أن الماء المتبخر من المحيطات أكبر من الماء المتساقط عليها كأمطار. ويتم موازنة هذا الفقد من الماء الذي يعود إلي المحيطات نتيجة الصرف السطحي من القارات. ويأتي حوالي ثلث الماء الكلي المتساقط على اليابسة (١٠٧,٠٠٠كم٣) نتيجة البخر الزائد عن كمية الماء المتساقط على المحيطات (٤٣٤,٠٠٠ – ٣٩٨,٠٠٠ = ٣٦,٠٠٠كم٣)، ويعود هذا الثلث بدوره إلي المحيطات كصرف سطحي.

ـ كمية الماء المستخدم :

تتحكم دورة الماء بشكل أساسي في إمدادات الماء في العالم. وتأتي إمدادات الماء العذب الطبيعي فقط عن طريق الأمطار والأنهار والبحيرات وبعض المياه الجوفية والماء المنصهر عن الثلج أو الجليد على اليابسة. وتأتي كل هذ المياه أساسا نتيجة تساقطها. كما تنتج كميات صغيرة من الماء العذب في بعض المناطق القاحلة في الشرق الأوسط وخاصة في الخليج العربي، من تحلية الماء المالح desalination (أي إزالة الملوحة منه). لذلك فإن الحد العملي لكمية الماء العذب الذي يمكن أن نستخدمه هو الكمية التي تسقط على القارات. ويعني ذلك أيضا، أن الماء العذب هو مصدر متجدد. وعلى الرغم من أننا قد نستنزف هذه المصادر من الماء مؤقتا، إلا أن التساقط سوف يعوض هذا الاستنزاف خلال عدة آلاف أو مئات من السنين.

وينقسم الماء المتساقط على الأرض إلى ثلاثة أجزاء:

جزء منها يشمله الجريان السطحي، بينما يتبخر جزء آخر ويتسرب الجزء الثالث. ويستطيع الإنسان أن يستخدم الجزء من الماء الذي يتسرب في الأرض ليكون المياه الجوفية، بحفر الآبار. أما الجريان السطحي فيشمل الجزء من الماء الذي يمكن للإنسان أن يستخدمه بسهولة ويسر من الأنهار والمجاري المائية. وتؤثر أنشطة الإنسان وتتداخل في عمليات دورة الماء الطبيعية.



وسنذكر فيما يلي بعض تدخلات الإنسان في هذه الدورة:

- يزيد التبخر نتيجة استخدام مياه الري في الأراضي الجافة.
- يؤثر تمهيد الطرق وتعبيدها على سطح الأرض وخاصة في الطرق الطويلة السريعة، والمباني في تقليل الماء المتسرب.
- يمكن أن تؤدي أنشطة الإنسان في التدفئة عالميا وكذلك محليا إلي انصهار جليد المثالج، مما يؤثر في اتزان الماء في الخزانات الأخرى.

ثانيا: الأنـهار والنقل إلى المحيطات:

الانـهار :

النـهر هو مسطح مائي ينساب على اليابسة في مجرى طويل وعريض. حيث يغذيه نبع او عدة ينابيع ، ولا تنقطع مياهه عن الجريان طيلة العام.



وتبدأ معظم الانهار من اعالي الجبال او التلال، وقد يكون منبع النهر مثلجا، او نهرا جليديا ينصر ، او ينبوعا ، او بحيرة تفيض مياهها. ويتلقى النهر – اثناء جريانه في مجراه – المزيد من المياه من الجداول والأنهار الاخرى ، ومياه الامطار. ويقع مصب في نهايته، حيث تصب مياهه في نهر اكبر او بحيرة او في احد المحيطات.وتختلف الانهار فيما بينها اختلافا كبيرا من حيث الحجم، فبعضها صغير جدا حتى انها تجف خلال ايام القحط.

اقسام النـهر:

١- **وادي النـهر**: ويتالف من الضفتين تغطيهما تربة ، قد وضعها النهر.
٢- **سرير النـهر**: وهو مجرى المياه ، وادنى مستوى للماء فيه يدعى (سرير الشح) واعلى مستوى فيه لها يدعى (سرير الفيضان).
٣- **حوض النـهر**: ويشمل جميع الاراضي التي تنحدر مياهها باتجاه النهر.

منبع النهر:

يتكون ماء النهر من مياه الامطار والبحيرات والينابيع، والثلج والجليد الذائبين. وتسمى المجاري المائية التي تنساب من المنبع ب " منابع النهر ". وهناك يبلغ النهر اقصى ارتفاع له. وفي البداية تنساب منابع النهر هذه في مجاري ضيقة بالغة الصغر تسمى الجداول. وتمتلئ هذه المجاري بالماء اثناء العواصف الممطرة فقط ، وتلتقي هذه الجداول اثناء انحدارها من فوق التلال، مكونة مجري مائية اوسع واعمق، يسمى كل منها غديرا، وتتحد هذه الغدران بدورها لتكون مجاري اوسع يسمى كل منها نهيرا ، وتتحد هذه الانهار الصغيرة بدورها لتكون الانهار الكبيرة. وتسمى جميع الانهار والغدران التي تحمل المياه الى النهر بالروافد. ويشكل النهر وروافده ما يسمى: النظام النهري ، وتشمل بعض النظم النهرية عدة انهار صغيرة تتجمع في نهر كبير واحد.

تشكل مياه الامطار معظم مياه الانهار ، اذ تنساب مياه بعض الامطار على اليابسة الى مياه النظام النهري ، حيث تصل في النهاية الى اكبر نهر في ذلك النظام عن طريق الجداول والغدران والأنهار ، والأنهار الصغرى. اما بقية مياه البحر فترتوي بها الارض، وتتجمع على هيئة مياه جوفية. وتتسرب بعض هذه المياه الجوفية الى النظام النهري ، فتظل المياه تجري في معظم الانهار حتى خلال فترات الجفاف ، وقد تجف بعض الانهار من حين لاخر بفعل الجفاف ولذلك تدعى هذه الانهار بالانهار المتقطعة ، وقد يتلاشى بعض هذه الانهار في الصحارى الرملية او البحيرات المالحة في قلب القارة.

مجرى النهر:

يتالف مجرى النهر من الاراضي الواقعة على جانبي المياه الي تنساب في ذلك النهر ، ويسمى السطح السفلي لمجرى النهر بالقاع. وتسمى كل حافة حافتي المجرى ب " شط النهر" ويميل مجرى النهر الى الانحدار الشديد قرب المنبع ، والى الانبساط تقريبا قرب المصب، ولذلك يتدفق الماء في معظم الانهار باقصى سرعة له في اعالي المجرى.

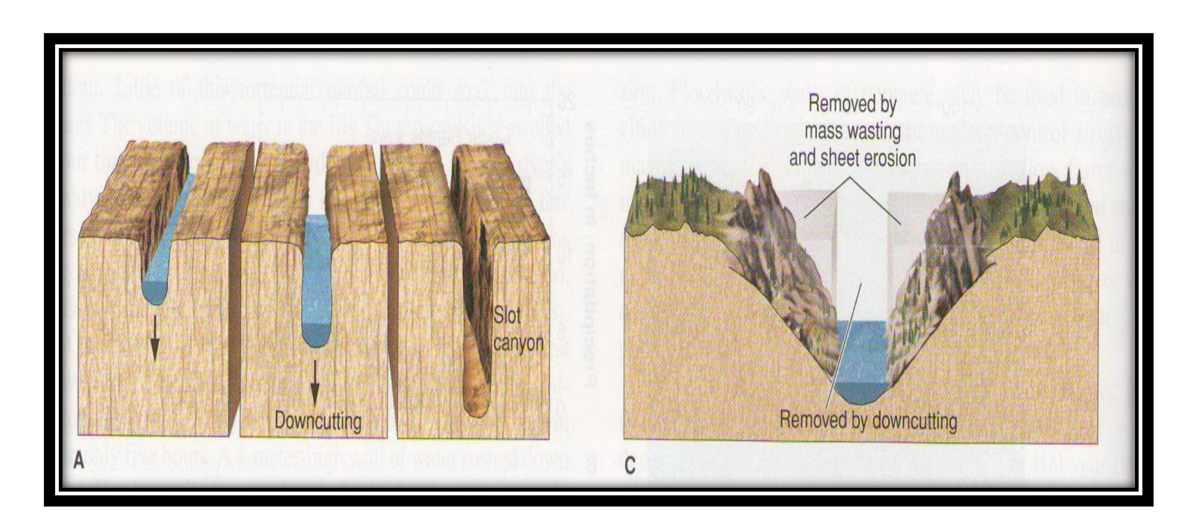
وفي كثير من الانهار تقع المساقط المائية والشلالات في اعلي المجرى. وتتكون هذه المساقط المائية حيث تعترض النهر طبقة قوية من الضخر المقاوم. اما الصخور الرخوة في مهبط النهر فتتعرى بفعل جريان المياه، وينجم عن ذلك هبوط شديد الانحدار في مجرى النهر.

ويمكن تقسيم مجرى النهر الى ثلاثة اقسام:

المجرى الأعلى: وهو بين المنبع والمنطقة التي تخف عندها سرعة المياه.

المجرى الأوسط: وهو القسم الذي تكون فيه حركة المياه خفيفة.

المجرى الأدنى: وهو القسم الكثير الالتفافات والتي تكون فيه حركة المياه بطيئة.



القطع الاسفل لمجري النهر



مصب النهر:

تنخفض سرعة جريان ماء النهر فجأة عند مصبه، وقد يؤدي ذلك الى تكون مسطح من الارض يعرف باسم الدلتا ، التي تتكون عند مصب النهر وتمتد حتى البحيرة او المحيط الذي يصب فيه النهر. وتتكون الدلتا لان النهر يحمل الى مصبه مخلفات ما نحته من الصخور جراء عملية التعرية ، وهو ما يطلق عليه اسم " حمولة النهر " التي تكون ذائبة في المياه ولا يمكن رؤيتها. وتختلط هذه الحمولة غير المرئية بمياه البحيرة او المحيط عند مصب النهر. ويحمل النهر كذلك حمولة مرئية تتالف من مواد عديدة كالجلاميد والطمي. واحيانا ما تحدد الجسيمات الدقيقة في الحمولة المرئية لون مياه النهر التي قد ترى باللون الاحمر او الاصفر او البني ، وتتكون الدلتا عندما يرسب النهر حمولته المرئية بشرعة عند المصب.

وللانهار من حيث منبعها ومصبها ثلاثة انواع:

- **انهار ساحلية**: وهي التي تنبع قريبا من الساحل ، او في سفوح الجبال المشرفة على السهول الداخلية، ثم تصب في البحر.

- **انهار داخلية**: وهي التي تنبع في الداخل متجهة نحو البحر لتصب فيه.

- **انهار داخلية قارية:** وهي التي تنبع في الداخل وتصب في بحيرة او بحر داخلي قاري او تستنفذ مياهها في الري.

ولكثير من الانهار روافد وفروع:

فالرافد هو كل مجرى يحمل الماء الى النهر.

والفرع هو المجرى الناتج عن انقسام النهر الى فرعين او اكثر.



وقد تعترض مجرى النهر (المساقط) و (الجنادل):

المساقط: هي التي تسقط مياه النهر عندها من الاعلى نجو الاسفل مشكلة بذلك شلالا نتج عن اختلاف في سوية مجرى النهر، اما بسبب انكسار اصاب المجرى، او بسبب انتقال مياه النهر في مجراه من ارض صلبة تعقبها ارض لينة تَحُتُّها مياه النهر بسرعة فتجعل مستواها اخفض من مستوى الارض الصلبة.

الجنادل: صخور صلبة كبيرة قائمة في مجرى النهر، لم تستطع مياهه أن تَحُتَّها بينما حَتَّت ما كان يتصل بها من صخور لينة.

مراحل تطور الانـهار:

١ ـ مرحلة الشباب:

في هذه المرحلة يكون النهر ضيقا ، شديد الانحدار ، مستقيم الوادي ، وسرعة جريان مائه تكون كبيرة ، وفيه تكون المساقط والجنادل كثيرة. ولذلك يسعى النهر في الحفر الراسي كي يقوم بتعميق مجراه على سطح الارض وذلك عن طريق النحت في قاع المجرى ليصل الى مستوى سطح البحر او مستوى القاعدة المحلي اذا كان يصب في بحيرة داخلية او في نهر اخر. ويتميز مجرى النهر هنا بأنه على شكل رقم ٧ أى له جوانب شديدة الانحدار والناتجة من سرعة جريان التيار في هذه المرحلة مما يسبب ضيق المجرى.

٢ ـ مرحلة النضج:

في هذه المرحلة يخف انحدار النهر وذلك نتيجة لاتساع الوادي (مجراه) الناتج عن النحت الجانبي للصخور ، وتقل سرعة جريان مياهه ، وإذا كان مجرى النهر في مرحلة الشباب يمثل رقم ٧ فإن المجرى يزداد إنفراجا كما أن النحت الجانبى قد كون واديا عريضا تغطية الرواسب تمهيدا لتكوين ما يعرف بالسهل الفيضى الذي يتكون في المراحل الأخيرة من حياة النهر.

وفي هذه المرحلة تظهر التعاريج والمنعطفات ، فعندما يصل النهر أقصى مداه نحت قاع مجرى النهر بحيث لا يقوى بعد ذلك على النحت فيتحول نشاطه إلى النحت الجانبى. فحيثما ينحرف مجرى النهر استقامته لأى سبب من الأسباب، سرعان ما يرتطم تيار النهر بالجانب المقعر من المنحنى ويقتحمه بقوة، بحيث يتآكل ساحل النهر حول جانبه المحدب من المنحنى حيث يترسب الفتات الصخرى والرواسب العالقة من جراء عملية النحت وهكذا باستمرار هذه العملية مع الزمن، يترحزح بالتدريج مجرى النهر عن موضعه الأصلى، ويزداد مقدار إنحناء النهر.وبتكرار هذه العملية في أماكن مختلفة من النهر، يرى النهر وقد التوى مساره في نسق من الاثناءات والالتوءات تسمى المنعطفات أو التعرجات النهرية المعروفة بـ " المياندرز" (Meanders) وفى كثير من الحالات تبلغ شدة المنعطفات مبلغا كبيرا، وتتعقد الانثناءات ، بحيث أن المسافة بين أى نقطتين من مجرى النهر قد تكون قصير جدا إذا قيست بخط مستقيم ، بينما تطول كثيرا هذه المسافة إذا ما قيست بخط منحن يتبع مجرى النهر في إنحنائه وعلى ذلك فإن الانعطاف المتعدد الواضح في مجرى النهر يعتبر شاهدا على تقدم عمر النهر .

٣ ـ مرحلة الهرم: (او الاتزان)

فيها يصبح النهر عريض المجرى ، واسع الوادي ، ضعيف الانحدار ، كثير التعاريج لذا تترسب في قاع مجراه حوامله (من طمي وجسيمات دقيقة اخرى) التي تؤدي الى تكرار فيضانه ونشوء البحيرات والمستنقعات على طرفيه وقد تؤدي العوامل الطبيعية احيانا الى تجديد شباب نهر هرم. وذلك عندما تؤدي هذه العوامل الى امالة مجراه ، فتغدو مياهه سريعة وتعاود حتها للمجرى من جديد.

<u>أهمية المجارى المائية (الانهار) وأوديتها للإنسان:</u>

<u>أولا: أهمية المجارى المائية (الانهار):</u>

١- تستخدم الأنهار خصوصا منها ما هو في مرحلة الشيخوخة كطرق مواصلات طبيعية. مثال نهر المسيسبي. والراين ، والنيل. فحركة النقل في كل منها نشطة وكثيفة.

٢- تستخدم كثير من الأنهار في إمداد المناطق الزراعية التي بحاجة ماسة لمياه الري، ومن هذه النهار ، النيل والسند واليانجتسي-كيانج.

٣- تستخدم الأنهار في توليد القوى الكهربائية. فالأنهار الشابة تحوي مساقط مائية، أو تجري مياهها خلال خوانق ، وعندها تنشأ محطات توليد القوى الكهربائية. مثال على ذلك سد كاريبا الذي أنشئ في نهاية الخانق الذي يقع أسفل شلالات فيكتوريا على نهر زمبيزي. وسد بولدر قرب الخانق العظيم على نهر كولورادو.

٤- تصلح بعض مناطق المصبات النهرية لإقامة المواني خصوصا حيثما تكون عميقة ومحمية. ومنها كلكوتا على فرع من فروع الكانج، وشنغهاي على دلتا اليانجتسي-كيانج، ونيو أورليانز في دلتا المسيسبي، والإسكندرية التي تقع عند الحافة الغربية للدلتا وتصلها بفرع رشيد ترعة المحمودية.

٥- استخدام الانهار كمكان صيد للاسماك.

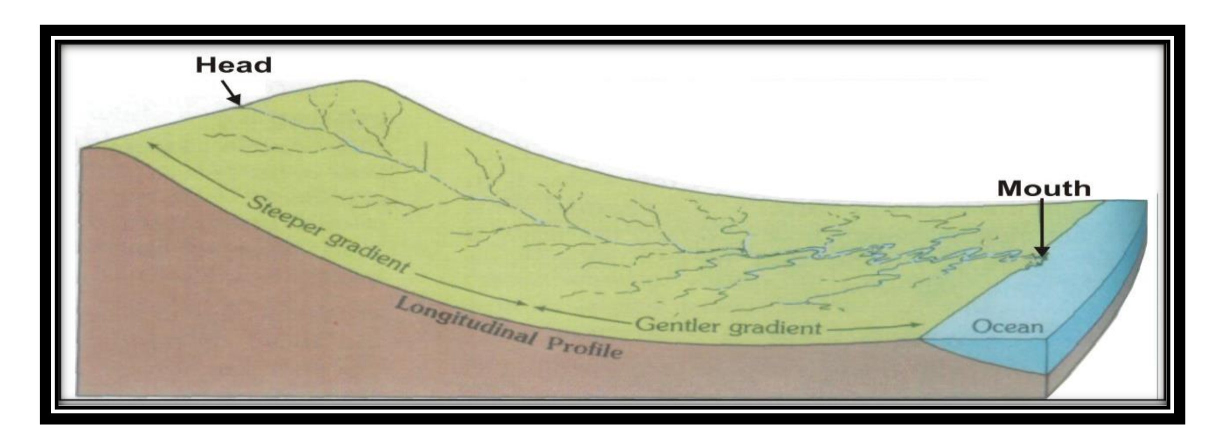
٦- اعتماد الأنهار كحدود سياسية بين الدول.

<u>ثانيا: أهمية الأودية النهرية:</u>

١- الأودية الجبلية ممرات سهلة لعبور الجبال، وتمر خلالها الطرق والخطوط الحديدية الجبلية.
٢- في الأودية الناضجة مراكز صالحة للعمران. وعلى امتدادها تقام الطرق وتنشأ الخطوط الحديدية نظرا لاتساع قيعانها وانحداراتها الهينة.
٣- السهول الفيضية والدالات ذات تربات خصبة تجود فيها الزراعة. ولذلك فقد عمرها السكان منذ القدم. وفيها حضارات خالدة على سهول النيل ودجلة والفرات والسند وهوانجهو.

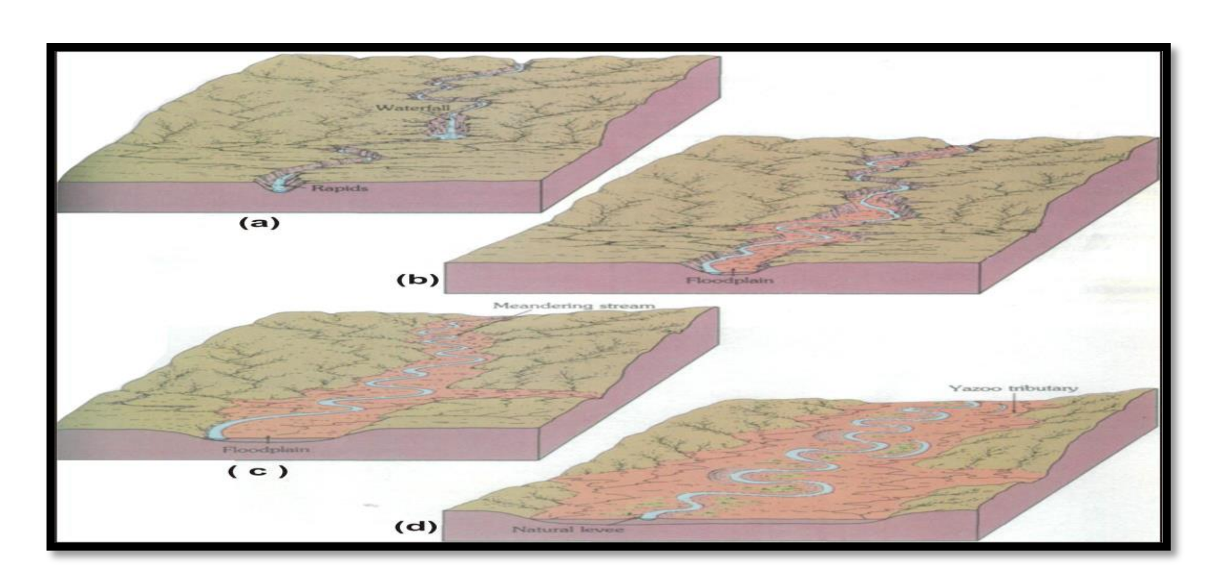
تعتبر الأنهار من العوامل الجيولوجية الرئيسية التي تعمل على سطح الأرض، حيث تقوم المجاري المائية من مختلف الأحجام مثل الجداول الصغيرة والأنهار الرئيسية بتعرية صخور الأساس ونقل وترسيب الرمل والحصى والطين. **وسنتناول هنا العمل الجيولوجي للأنهار**، أي **كيف تنساب المياه في تيارات وكيف تحمل هذه التيارات الراسب، وكيف تقوم المجاري المائية بتكسير وتعرية الصخور الصلبة، وكيف تحفر المجاري المائية الوديان وتكون عدة أشكال أثناء حركة المياه.**

ونحن نستخدم في حياتنا اليومية بعض المصطلحات لوصف المجاري المائية المختلفة، إلا أن الجيولوجيين يضعون مفاهيم أكثر دقة لبعض هذه المصطلحات. ولذلك يستخدم الجيولوجيون كلمة **مجرى مائي** stream لأي فرع يحتوي على ماء منساب، سواء كان كبيراً أم صغيراً، بينما يستخدمون كلمة **نهر** river للأنهار الرئيسية المتفرعة من مجرى مائي كبير.



A longitudinal profile is a cross section along the length of a stream

وتلعب المجاري المائية دوراً مهماً في حياتنا، فهى تخترق معظم مدن العالم، وتستخدم للملاحة ونقل البضائع والأفراد، كما تستخدم كمصدر للماء للتجمعات السكنية والصناعية. فأنهار الأمازون والراين والمسيسيبي والنيل تستخدم كشريان حيوي للنقل. وقد بنيت معظم المدن الكبرى في العالم مثل القاهرة والخرطوم ولندن وباريس وروما وموسكو في وديان مجاري الأنهار، حيث يسهل البناء على قيعان الأودية المستوية، كما تكون التربة خصبة والماء متوافراً. فقد قامت الزراعة حول نهر النيل منذ الفراعنة حتى اليوم. كما تكون الحياة بالقرب من الأنهار محاطة بالمخاطر، حينما تفيض الأنهار وتدمر الحياة والممتلكات القائمة حولها .



Stages of valley development

وبالإضافة إلى أهمية المجاري المائية العملية والجمالية، فان للمجاري المائية أهمية حيوية كعوامل جيولوجية في النواحي التالية:

١ – تحمل المجاري المائية معظم الماء الذي يتدفق من اليابسة إلي البحر، وبذلك فإنه يعتبر جزءاً مهما من دورة الماء.

٢ – تقوم المجاري المائية بنقل بلايين الأطنان من الرواسب إلي المحيطات كل عام، حيث يتم الترسيب وتصبح الرواسب في النهاية جزءا من التتابع الطبقي للأرض.

٣ – تقوم المجاري المائية بنقل كميات صغيرة من الأملاح الذائبة التي تكونت أثناء عملية التجوية إلي البحر. ويلعب هذا النقل دورا مهماً في الحفاظ على ملوحة ماء البحر.

٤ – تقوم المجاري المائية بدور رئيسي في تشكيل سطح الأرض. وتتكون التضاريس الأرضية أساسا من أودية للمجاري المائية تفصلها عن بعضها مرتفعات، نتيجة عملية التجوية والتعرية.

كيف تكونت أودية الأنهار؟

ويعتقد بعض العلماء أن الأنهار ليست هي التي تكون مجاريها وتحفر أوديتها،بل تساهم حركات قشرة الأرض في هذا الصدد وإن لم تكن هي المسئولة أصلاً عن تكون هذه الأودية، ولكن مثل هذا الإعتقاد إن صح في بعض الأنهار إلا أنه لا يجب تعميمه على شتى أنهار العالم. فقد كان الإعتقاد السائد حتى عهد ليس ببعيد، أن وادي نهر النيل قد تكون بفعل حركات قشرة الأرض التي أحدثت إنكساراً هائلاً في قشرة الأرض مما أدى إلى هبوط تلك الأجزاء المنخفضة التي تسمى بوادي النيل،والتي تنحصر بين الصحراوين الشرقية والغربية.أما الآن فيؤمن علماء الجيولوجيا بأن نهر النيل هو الذي شق مجراه بواسطة عملية النحت المائي العادي، أي أن مياهه هي التي حفرت بنفسها ذلك الوادي العريض الهائل،في التكوينات الجيولوجية اليت تحده من كلا جانبيه، إذ إنها دأبت منذ جريانها فوق الصخرو الرسوبية التي توجد في القسم الشمالي من القارة الإفريقية على نحت الأرض التي جري فوقها، وعلى إزالة المواد التي تنحتها حتى كونت في النهايةذلك الوادي الواسع الذيتجري فيه مياه النهر في الوقت الحالي.

تطور الأودية النهرية:

تكونت معظم الأودية التى تجرى بها المياه بفعل ثلاث عمليات مرتبطة ومتلازمة وهى:

١- عملية تعميق الوادي.
٢- عملية توسيع الوادي.
٣- عملية إطالة الوادي.

<u>أولاً: تعميق الوادي:</u>

<u>ويتم هذا التعميق بفعل عدة وسائل هي:</u>

(أ) قوة إندفاع المياه.
(ب) نحت قاع الوادي بفعل قوة ضغط امياه وما تحمله من مفتتات ومواد صخرية مفككة.
(ج) تكون الحفر الوعائية في قاع الوادي.
(د) النحت الكيماوي .

تعرض قاع النهر لعملية التجوية، وما يتبع هذا من إزالة المواد المفككة التي تخلفت عن هذه العملية بفعل قوة ضغط المايه،ويظهر هذا بصفة خاصة في حالة الأنهار المتقطعة الجريان اليت تفيض في بعض المواسم، وتغيض أو تخف في مواسم أخرى.

<u>ثانياً: توسيع الوادي:</u>

ويقصد بإتساع الوادي طول المسافة العرضية التي تمتد بين جانبيه، وهو ما يصوره لنا القطاع العرضي للوادي.

<u>وتتم عملية توسيع الوادي بطرق عديدة نذكر منها:</u>

(أ) <u>طريقة النحت الجانبي</u> : إذ تستطيع مياه النهر بواسطة إندفاعها وما تحمله من أدوات الحفر، أن تزيل بعض المواد من قواعد جانبي الوادي مما يؤدي إلى نحت هذه القواعد نحتاً سفلياً فتنهال، وتنهار كتل ومفتتات صخرية من أعالي هذه الجوانب، في مياه النهر.

وتحدث هذه العملية في كل مراحل تطور الوادي، ولكنها تظهر بصفة خاصة في فترتي النضوج والشيخوخة، عندما تتوقف عملية تعميق الوادي، وتحل محلها عملية النحتا الجانبي التي تهدف إلى توسيعه.

(ب) <u>إنهيار الجوانب:</u> نتيجة عمليات زحف التربة، إذا ما كانت هذه الجوانب شديدة الإنحدار، وكانت الأمطار غزيرة،وقد تنهار جوانب النره أيضاً، نتيجة حدوث هيارات ثلجية . ويظهر هذا بصفة خاصة في الأقاليم التي تتعرض لسقوط الثلج أثناء فصل الحرارة المنخفضة.

(ج) <u>فعل المياه الجوفية:</u> التي تتسرب تسرباً جانبياً إلى مياه النهر، وتحدث هذه العملية بصفة خاصة في الأقاليم الجافة.

(د) <u>عملية نحت الجوانب نحتاً جانبياً</u>: وخصوصاً إذا ما كانت مياه النهر تحتوي على نسبة كبيرة من الأملاح المذابة.

(ه) فعل الرياح: إذ إن عامل الرياح عامل فعال في إزدياد إتساع الأودية الجافة اليت قد تمتلئ بالمياه في مواسم سقوط الأمطار.

(و) يزداد إتساع الوادي: كذلك، في المناطق التي يلتقي فيها المجرى الرئيسي بروافد جانبيه، وفي هذه المناطق بالذات، حيث تضغط المياه على جانبي الوادي من إتجاهين، يصل إتساع الوادي إلى أقصى حد له.

ثالثاً: إطالة الوادي: وتتم بعدة طرق أهمها:

(أ) **طريقة النحت الصاعد** : وهذه الطريقة نجدها محققة في سائر الأودية الصغيرة نسبياً، حيث يجري نحت الوادي من أسفله إلى أعلاه. أي من المصب إلى المنبع، ويرجع هذا إلى إحتكاك الماء الجاري والمواد التي يحملها النهر، بقاعه. ولذا نجد أ، عملية النحت الصاعد تتناسب طردياً مع كمية المياه التي يحملها النهر، ومع سرعة جريان الماء فيه.

غير أنه من الخطأ أن نتصور أن بعض الأنهار الكبيرة - كنهر المسيسبي مثلاً - بدأت كأودية نهرية صغيرة وقصيرة تقع منابعها بالقرب من البحار، ثم إزدادت طولاً بعد ذلك بواسطة عملية النحت الصاعد حتى وصلت إلى منابعها الحالية اليت تبعد عن مياه البحر عدة مئات من الكيلو مترات، إذ لم تتكون فعلاً بهذه الطريقة إلا بعض الروافد الثانيوة الصغيرة، أما الأودية الرئيسية فيمكننا أن نجزم بأنها لم تزد طولاً بعملية النحت التراجعي وحدها بل ساهمت معها عمليات أخرى عديدة.

(ب) **طريقة التقويض أو الهدم بفعل الينابيع:** (أو التقويض الينبوعي) وهي طريقة أخرى من طرق النحت الصاعد - التي تؤدي إلى زيادة أطوال أودية الأنهار - وتتحقق في الحالات التي تظهر فيها بعض الينابيع عند رءوس الأودية، فعندما تتدفق مياه الينبوع إلى سطح الأرض فإنها تستطيع أن تجتذب بعض المواد الصغيرة المفككة من المناطق التي تجاورها إما في صورة عالقة أو مذابة، ويتم بهذه الطريقة تقويض وهدم المناطق المحيطة بهذا الينبوع المتدفق، وتصبح على شكل حوض تحيط به حوائط صخرية رأسية تتراجع مطرداً إلى الوراء.

(ج) **تصريف المستنقعات:** فقد توجد في بعض الحالات عند رءوس الأودية، بطائح ومستنقعات مائية يستقي منها النهر مياهه، ويستطيع النهر أن يشق طريقه صاعداً خلال هذه البطائح بواسطة عملية النحت الصاعد، ولذلك بعد أن يكون قد إستطاع تعميق واديه في جزئه الأدنى. بدرجة تسمح بإنصراف مياه هذه البطائح إلى الجزء الأدنى من الوادي.

(د) **إزدياد أطوال ثنيات الأنهار وإلتواءها:** فما دام وادي النهر الكثير الإنثناء والإلتواء تحده حوائط مرتفعة على كلا جانبيه، فلابد أن يؤدي إزدياد أحجام ثنياته وإلتواءته إلى زيادة طول النهر ذاته.

(ه) **زيادة أطوال الأنهار عند مصباتها**: وذلك إذا ما تعرض اليابس في هذه المناطق للإرتفاع، أو إنخفض منسوب مياه البحيرة أو البحر الذي ينتهي إليه النهر مما يؤدي إلى أن يشق النهر طريقه عبر الأرض الجديدة التي تظهر، وقد زادت أطوال معظم الأدوية النهرية التي تنتهي إلى المحيط الأطلسي وتلك التب تنتهي إلى خليج المكسيك (في أمريكا الشمالية) بهذه الطريقة. وقد تزداد بعض الأدوية النهرية في أطوالها إذا ما تزايد إمكتداد دالاتها في مياه البحر، وهذا ما حدث فعلاً للوادي الأدني لنهر المسيسبي فقد كان مصب هذا النهر في عصر البلايستوسين يقع في اليابس على بعد ١٢٥ ميلاً من مصبه الحالي، وإستطاع وادي هذا النهر أن يشق طريقه عبر هذه المسافة نتيجة لزيادة إمتداد دلتاه على حساب مياه خليج المكسيك.

مستوى القاعدة أو الحد الأدنى للنحت: من المعروف أن هنالك مستوىأدنى تصل إليه عملية النحت الرأسي التي لابد أن تنتهي حتماً إلى هذا المستوى، إذا ما إستمرت تعمل دون توقف، دون تدخل عوامل أخرى باطنية، ويعرف هذا المستوى، الأدنى لعملية النحت الرأسي بمستوى القاعدة ، وقد كان الجيومورفولوجي الأمريكي "باول " (١٨٧٥) أول من أشار إلى وجود هذا المستوى وذلك بعد البعثة التي رأسها وهي التي زارت منطقة كولورادو في غرب الولايات المتحدة. وقد عبر عن فكرة مستوى القاعدة وهو المستوى الأدنى لعمليات النحت بما يلي: ". . . يمكننا أن نعتبر مستوى سطح البحر بمثابة مستوى قاعدة عظيم لا يمكن للأرض اليابسة أن تنحت دونه، وقد نجا في بعض الحالات مستويات دنيا للنحت غير مستوى سطح البحر، وتظهر هذه المستويات لظروف محلية، ومؤقتة . . . ففي المناطق التي يخترق النهر فيها مجموعة من الصخور ممتفاوتة في صلابته - أي أن بعضها صلب يستطيع مقاومة عملية النحت المائي، والبعض الآخر لين تسهل إزالته - تصبح الصخور الصلبة بمثابة حواجز مؤقتة، تؤدي إلى إرتفاع منسوب مياه النهر أمامها، ويسفر هذا بالتالي عن توقف عمليات النحت المائي في الصخور اللينة، وبهذا تتكون سلسلة من مستويات القاعدة المؤقتة في مجرى النهر الذي لا تستطيع مياهه أن تواصل النحت إلى ما دونها، هذا على الرغم من ليونة ورخاوة التكوينات الصخرية.

- المعالم الرئيسية للنظام النهري:

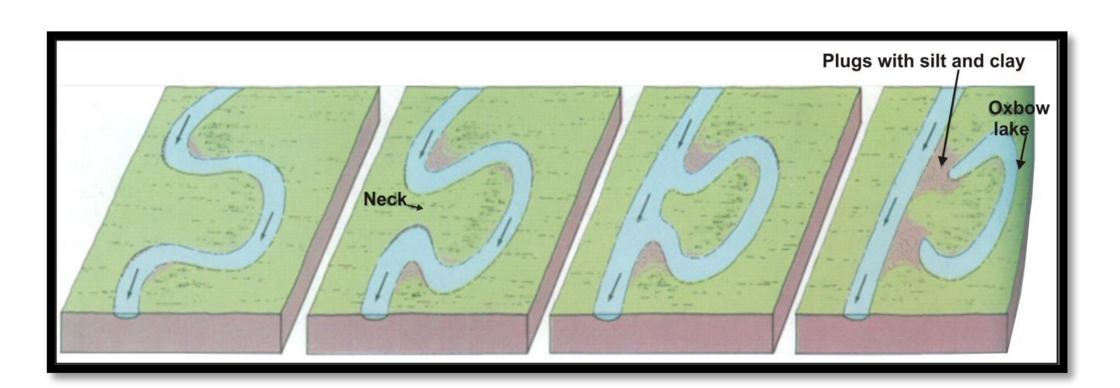
يتكون النظام النهري river water وهو عبارة عن حيد أو تل مرتفع من الأرض يفصل بين حوضي صرف لنهرين متجاورين. وفي النظام النهري، ينحدر سطح الأرض ناحية شبكة من الروافد بحيث يعمل نظام الصرف deainage system على تجميع وإزالة الرواسب والحطام الصخري الناتج من التجوية كما لو كان قمع تجميع.

ويقسم النظام النهري النموذجي إلى ثلاثة أقسام:

١ – نظام تجميع.
٢ – نظام نقل .
٣ – نظام توزيع (انتشار) .

ويعتبر التفرع صفة أساسية في عديد من الشبكات التي تقوم بتجميع المواد المختلفة وتوزيعها. فمثلا، تقوم شبكة الدورة الدموية في الإنسان بتوزيع الدم على أجزاء الجسم المختلفة بنظام متفرع من الشرايين، ثم تقوم بتجميعه بنظام آخر من الأوردة. وعلى الرغم من أن الحدود بين الأقسام الثلاثة للدورة تكون عموما تدريجية، إلا أن الخصائص المميزة لكل قسم تكون ظاهرة. وفيما يلي عرض مختصر لكل قسم من أقسام النظام النهري.

الالتواءات النهرية

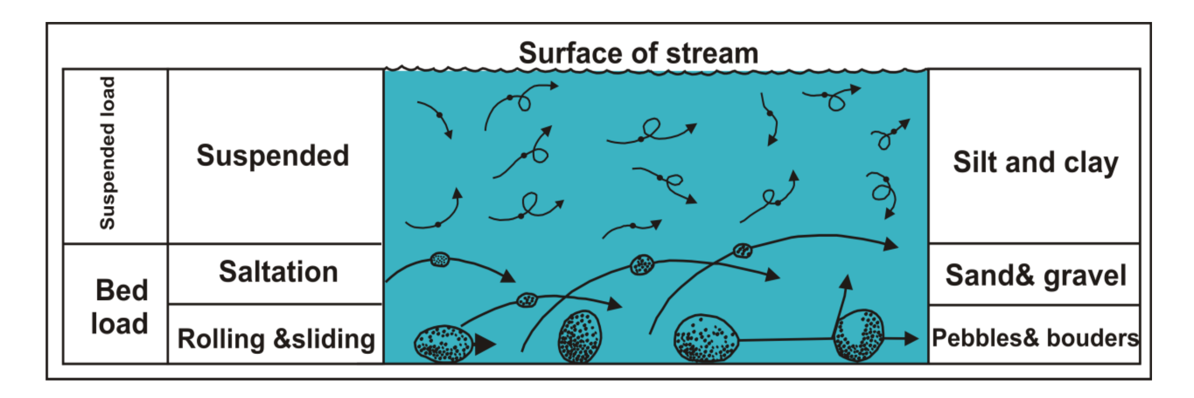


١ – نظام التجميع :

يتكون نظام التجميع collecting system أو نظام الصرف deainage system للنهر من شبكة من الروافد في منطقة أعالي النهر ومنبعه. والروافد tributaries هى مجاري مائية تقوم بتجميع المياه والرواسب لتصب في المجرى المائي الرئيسي. وتأخذ الروافد عادة النمط الشجيري dendritic (مثل الشجرة)، مع العديد من التفرعات branches التي تمتد لأعلى المنحدر ناحية مقسم المياه. وتعتبر شبكة الروافد المعقدة واحدة من المعالم المميزة لنظام التجميع.

٢ – نظام النقل :

يتكون نظام النقل transporting system من المجرى الرئيسي الذي يعمل كقناة يتحرك فيها الماء والرواسب من منطقة التجميع إلي المصب. وبالرغم من أن نقل الماء هو العملية الأساسية في هذا النظام، إلا أنه يتم في هذا الجزء أيضا تجميع ماء ورواسب إضافية، كما تحدث عملية ترسيب عندما ينثني المجرى، أو عندما يفيض النهر على ضفتيه أثناء فترة الفيضان. وهكذا فإنه تحدث عمليات تعرية وترسيب ونقل في نظام النقل النهري.



Transportation of a stream's load

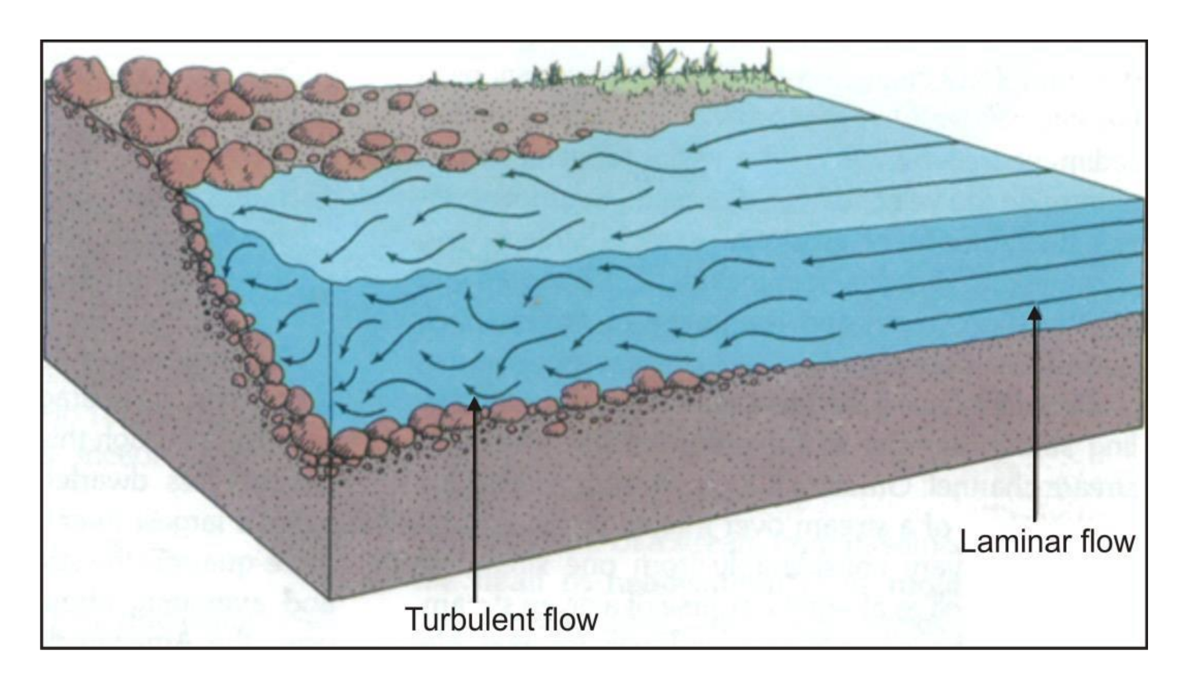
٣– نظام التوزيع (الانتشار) :

يتكون نظام التوزيع (الانتشار) dispersing system من شبكة من أفرع التوزيع distributaries عند مصب النهر، حيث تتشتت الرواسب والمياه في محيط أو بحيرة أو حوض جاف. وتتضمن العمليات الرئيسية في هذا النظام ترسيب حمولة النهر من الرواسب الخشنة وتتشتت الحبيبات الناعمة ومياه النهر في الحوض.

- انسياب الماء في مجاري المياه الطبيعية:

يمكن دراسة طبيعة الانسياب في الأنهار عن طريق وضع صبغات في المجرى المائي وملاحظة تحركه. وعندما يتحرك الماء في أنبوبة زجاجية بسرعة بطيئة جداً، فإنه ينساب فيما يعرف **بالانسياب الرقائقي** (الصفائحي) laminar fiow، وهو أبسط أنواع الحركة، حيث يتحرك الماء في طبقات متوازية دون أن تختلط أو تتقاطع. ونادرا ما يحدث الانسياب الرقائقي في المجاري الطبيعية، إلا أنه قد يحدث في طبقات رقيقة جدا على امتداد قاع وجوانب المجرى المائي، حيث يشيع هذا النوع من الانسياب في المياه الجوفية تحت سطح الأرض.

أما الانسياب المضطرب turbulent flow فهو نوع آخر من التحرك غير المنتظم للماء، حيث توجد دوامات تؤدي إلي اضطراب الماء أثناء الانسياب . ويتحرك الماء المصبوغ أثناء الانسياب المضطرب إلي أعلى وأسفل المجرى المائي وعلى جانبيه، مما يوضح أن الماء يمكن أن يرفع الراسب غير المتماسك من قاع النهر وينقله حتى مصب المجرى المائي.



Laminar and turbulent flow

وانسياب الماء في المجرى المائي عملية معقدة تتأثر بعدة عوامل أهمها:

أ – التصريف.
ب – السرعة التي يتحرك بها الماء.
ج – شكل وحجم قناة المجرى المائي.
د – انحدار قناة المجرى المائي.
هـ - مستوى القاعدة (المستوى الأدنى للتعرية).
و – الحمولة (المواد التي يحملها أو يحركها الماء المنساب).

أ – التصريف: معدل تحرك الماء:

يبدو شكل المجرى المائي ثابتا ومستقرا عندما ننظر إليه من فوق جسر لعدة دقائق، أو من خلال قارب لعدة ساعات. ولكن قد يتغير حجم هذا المجرى المائي . وسرعته في مكان معين من شهر لآخر أو من موسم لآخر. **فالمجاري المائية:** هى أنظمة ديناميكية ترتفع فيها المياه، وقد تفيض أيضاً في بعض السنوات، كما تغير من شكل أوديتها خلال فترات زمنية أكبر. كما تغير المجاري المائية من معدل تدفقها وأبعاد المجرى الرئيسي عندما تنتقل من الروافد الضيقة الموجودة عند منبع المجرى المائي إلي السهول الفيضية الأكثر اتساعا عند الأجزاء الوسطى والسفلى من المجرى.

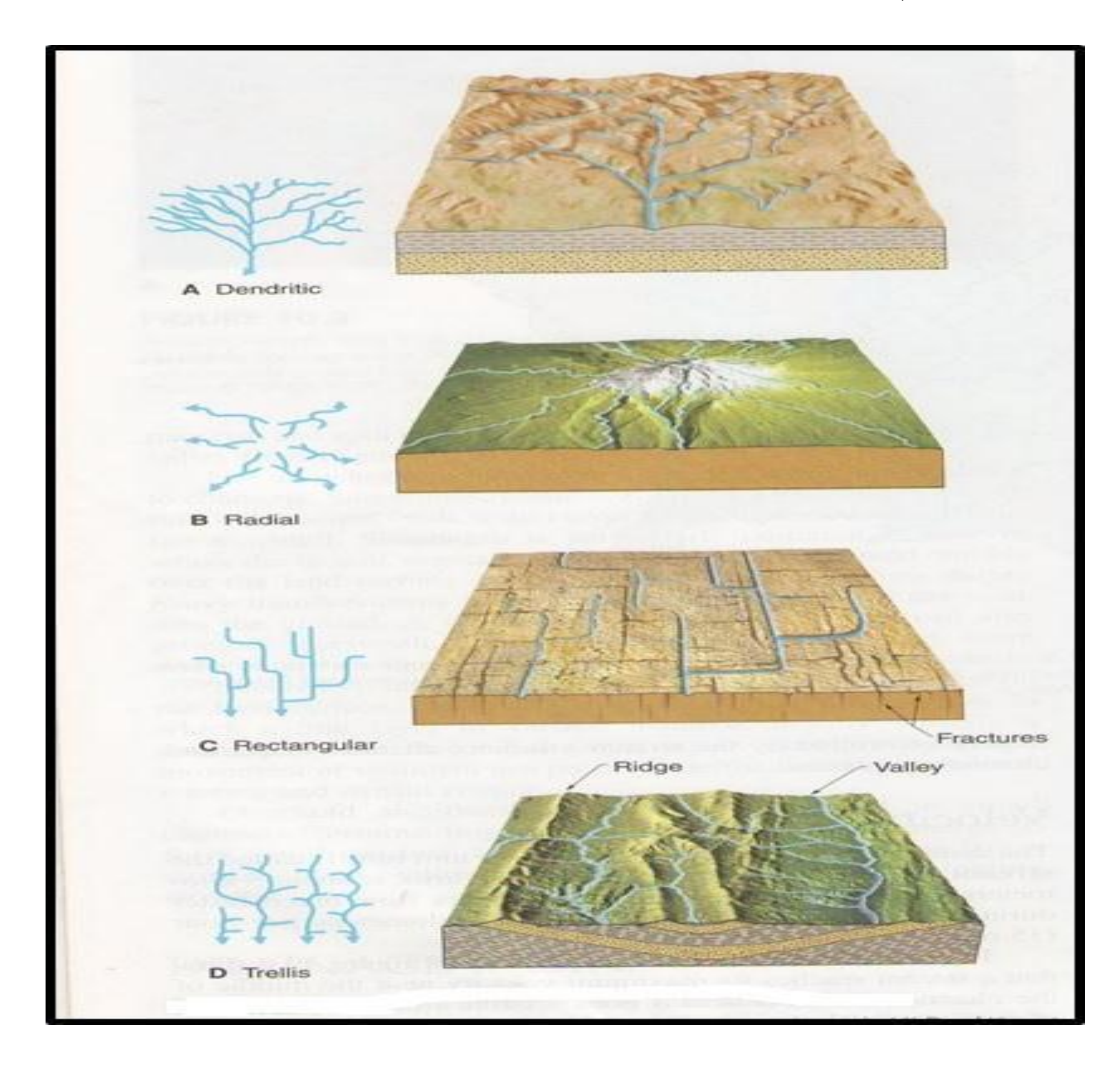
وتقدر كمية الماء الذي ينساب في المجرى المائي بقياس التصريف discharge، وهوكمية الماء التي يمر بنقطة معينة في وحدة زمنية معينة أثناء انسيابه خلال قناة لها عمق وعرض محددان. ويقاس التصريف عادة بالأمتار المكعبة لكل ثانية أو بالقدم المكعب لكل ثانية.

ويمكن حساب التصريف عن طريق حساب مساحة القطاع العرضي (العرض × متوسط عمق الجزء من المجرى الممتلئ بالماء) وكذلك حساب سرعة الانسياب (المسافة التي يقطعها الماء في الثانية): التصريف discharge = مساحة القطاع العرضي للمجرى (متر مربع) × سرعة الانسياب (متر مكعب / ثانية)

وتؤدي هذه المعادلة إلي توقع زيادة التصريف بزيادة مساحة القطاع العرضي أو سرعة الانسياب أو كليهما. فإذا زاد تصريف مجرى مائي عند نقطة معينة، فإن كلا من سرعة خروج الماء ومساحة المقطع العرضي للمجرى تزداد (تتأثر السرعة أيضا بانحدار المجرى ودرجة خشونة قاع المجرى وجوانبه). وتزداد مساحة القطاع العرضي عندما يشغل الانسياب نسبة أكبر من عرض وعمق قناة المجرى المائي.

ويزداد التصريف الطبيعي في معظم الأنهار في اتجاه مصب النهر نتيجة زيادة انسياب الماء في الروافد. والروافد كما ذكرنا سابقا هى مجاري مائية تتصل بمجرى مائي أكبر وتصرف فيه مياهها. وكما لاحظنا فإن زيادة التصريف تعني أن العرض أو العمق أو السرعة يجب أن تزيد

أيضا. ولكن عموما لا تزيد السرعة في اتجاه مصب النهر بالدرجة التي نتوقعها من زيادة التصريف، بسبب نقص انحدار القنوات السفلي من المجرى المائي (قلة الانحدار تؤدي إلي انخفاض السرعة) .



انواع انماط التصريف

<u>ويتوقف نظام جريان أي نهر من الأنهار على العوامل الآتية:</u>

(أ) كمية التساقط الفصلي سواتء كان هذا التساقط في صورة أمطار أم ثلج أم برد. . إلى غير ذلك من صو رالتساقط.

(ب) وجود حقول أو أنهار جليدية.

(ج) درجة إنحدار الأرض في المنطقة التي يتلقى منها النهر مياهه.

(د) طبيعة الصخور وخصوصاً درجة إنفاذها للمياه .

(ه) خصائص الغطاء النباتي.

الفيضانات :

تعريف الفيضان :

الفيضان ظاهرة طبيعية تحدث عندما يزيد منسوب المياه في أي نهر؛ ليفوق مستوى ضفافه فيطغى عليها، وكلما زادت سرعة جريان الماء من المنبع إلى مجرى النهر زاد الفيضان. هو تراكم أو تزايد المياه التي تغمر الأرض، وبمعنى "المياه المتدفقة"، يمكن أيضا أن تنطبق على تدفق من المد والجزر. يأتي الفيضان غالباً بسبب هطول الأمطار الغزيرة وفيضان الأنهار أي يزيد مائها وأغلبها تكون ضارة، لأنها تتلف المنازل، وقد تتسبب في جرف الطبقة العليا للتربة، وتفيض الأنهار والبحار على الشواطئ ويجب على الدولة التنبؤ بهذه الحالة ثم تخلى المنطقة وبعد الفيضان تبنى سدا للمياه وقد تنجم عن زيادة حجم المياه قي مجرى مائي، مثل النهر أو البحيرة، والتي تتجاوز أو تتعدى الجبايات، ونتيجة لذلك يتعدى بعضا من الماء حدوده الطبيعية. ورغم أن حجم بحيرة أو هيئة أخرى للمياه سوف تختلف مع التغيرات في الأمطار الموسمية وذوبان الثلوج، وأنها ليست كبيرة، إلا إذا كان هذا الفيضان غمور المناطق البرية والتي تشكل خطرا على الأراضي التي يقطنها الإنسان كقرية أو مدينة أو أي مناطق سكنية أخرى. وأشهر فيضان في التاريخ هو الطوفان الذي حدث في عصر نبي الله نوح .



فيضان النهر خلال موسم الامطار



فيضان النيل ١٩٠٦م



الكعبة محاطة بمياه فائضة

ويمكن أيضا أن تحدث فيضانات في الأنهار، عندما تكون قوة جريان النهر إلى درجة كبيرة يتدفق النهر خارج القناة، ولا سيما في انعطافات أو تعرجات ويسبب ضررا على المنازل والمتاجر على طول هذه الأنهار .

أضرار الفيضانات يمكن أن يكون القضاء عليها عمليا بالتحرك بعيدا عن الأنهار وغيرها من المسطحات المائية، مع الأخذ في الاعتبار، والناس يعيشون ويعملون بالمياه لالتماس الرزق والاستفادة من المكاسب لسهولة ورخص السفر والتجارة من خلال قرب ماء. أن البشر لا تزال تسكن في المناطق المهددة بأضرار الفيضانات وهذا دليل على أن استفادة الذين يعيشون بالقرب من المياه تفوق أضرار الفيضانات المتكررة .

أسباب الفيضانات:

١) حدوث هزات أرضية في قيعان البحار .
٢) اقتلاع الغابات و النباتات التي تعيش قرب الأنهارفالغابات تستهلك كميات كبيرة من المياه و عند إزالتها يقل استهلاك المياه مما يسبب في الفيضانات .
٣) انصهار الجليد و انصبابه في الانهار .
٤) العواصف القوية و الأعاصير .
٥) هطول الأمطار بمستويات غير طبيعية .
٦) انهيار السدود.
٧) التغيير في ضغوطات المياه اسفل المحيطات الأضرارالتي تسببها الفيضانات .

الأنواع الرئيسية للفيضانات:

-الفيضانات النهرية :

أنواع بطيئة : تتكون من هطول الأمطار المستمر، أو ذوبان الثلوج بسرعة تتجاوز قدرة قناة النهر. وتشمل الأسباب الأمطار الغزيرة الموسمية، والأعاصير الاستوائية والبراكين، والرياح والأمطار الحارة التي تؤثر على تجمع الثلوج. العقبات غير المتوقعة للصرف، مثل انهيار أرضى ،أو ثلجي، أو من الحطام يمكن أن يسبب بطء الفيضانات النظري للعرقلة .
أنواع سريعة : يشمل الفيضانات الناجمة عن هطول الأمطار(كثافة العواصف الرعدية) أو الإفراج المفاجئ من المنبع وراء مصادرة خلف السد، والانهيارات الأرضية، أو الجليدية .

-مصبات الأنهار والفيضانات :

يتكون عادة بسبب مزيج من موجات المد البحري الناجمة عن رياح عاصفة storm" " surgeالعواصف الشديدة، وإما من الأعاصير المدارية أو الإعصار خارج المدار، تتدرج ضمن هذه الفئة .

-الفيضانات الساحلية:

بسبب العواصف الشديدة البحرية، أو نتيجة لخطر آخر (مثل تسونامي أو إعصار). اندفاع العواصف، وإما من الأعاصير المدارية أو الإعصار خارج المدار، ويندرج ضمن هذه الفئة .

-فيضانات كارثية :

نجم عن حدث كبير وغير متوقع مثل انهيار سد، أو نتيجة لخطر آخر (مثل زلزال أو انفجار بركاني).

-السيول الموحلة :

السيول الموحلة هي الفيضانات الناتجة في الأراضي الزراعية، السيول الموحلة ينتج عن تراكم الجريان السطحي على أرض زراعية، ثم فصل رواسب الجريان السطحي والتي تكون كمادة معلقة السيول الموحلة يتم اكتشافها على الأرجح عندما تصل إلى المناطق المأهولة بالسكان . السيول الموحلة تعتبر عملية انهيار أرضى، والخلط مع التدفقات الطينية التي تنتج عن التحركات الجماعية ينبغي تجنبه .

-أنواع أخرى للفيضانات :

ويمكن أن يحدث الفيضان إذا تراكمت المياه عبر سطح غير قابل للنفاذ(على سبيل المثال من الأمطار)، ولا يمكن أن تبدد بسرعة(أي ميل بسيط أو قلة التبخر). وهناك سلسلة من العواصف تصيب نفس المنطقة. بناء السدود على طريقة حيوانات القندس يجعل لمياه تغمر المناطق المنخفضة الحضرية والريفية، وغالبا ما يتسبب في أضرار كبيرة .

أضرارالفيضانات:

وهى تؤدى لخسائر وأضرار متنوعة (بشرية و ومادية):

١-هدم المنازل و تشريد ألاف من السكان و جعلهم بلا مأوى .
٢- إفساد المزارع و المحاصيل الزراعية .
٣- كما لا يقتصر ضررها على الأضرار المباشرة نتيجة شدة اندفاع المياه و غزارتها ٤- فقط . بل يسبب في انتشار الأمراض و الأوبئة في المناطق المنكوبة و بين السكان والخطر يحوم حول بعض جزر المحيط الهادئ مثل جمهورية كريباتي المهددة بالاختفاء في أي لحظة فبحدوث فيضانات بقوة معتدلة ستختفي هذه الجزيرة في أعماق البحار.



آثار تدمير فيضانات نهرية

فوائد الفيضانات:

للفيضانات خسائر كثيرة و فوائد قليلة و من فوائده:

١- تقوم الفيضانات النهرية بتغذية خزانات المياه الجوفية.

٢- يشبع الأرض بالمياه مما يجعل الأراضي خصبة صالحة للزراعة وهذا ما يساعد على ازدهار النشاط الزراعي في العالم .

العوامل المؤثرة في الفيضانات :

تساقط الأمطار الغزيرة وتؤثر فيها مجموعة عوامل مثل : طول زمن الهطول، كبر حجم قطرات الماء (شدته وغزارته) . ونفاذية التربة ، ومدى رطوبتها ومدى انحدارها ومدى توفر الغطاء النباتي ، انصهار الثلوج ، حدوث الأعاصير، حدوث ظاهرة التسونامي وانهيار السدود .

لتنبؤ بحدوث الفيضانات :

- استخدام التقنيات الاحصائية.
- استخدام الخرائط وتقنيات الاستشعار عن بعد لبيان مدى امتداد الفيضان .
- مراقبة تطور العاصفة المطرية من خلال التنبؤات الجوية أو أجهزة الانذار المبكر .

آثار الفيضانات :

تؤثر الفيضانات في المناطق التي تحدث فيها ، وتسبب اختلالاً في لتوازن البيئي عن طريق التأثير في مكونات النظام البيئي وتعزى آثارها إلى مقدار كميتها وسرعة تدفقها .

الآثار السلبية :

- القضاء على التربة الزراعية وتغيير تركيبها وتعرية المناطق المنحدرة .
- القضاء مع الكائنات الحية التي تعيش في مجرى النهر وعلى ضفافه الآثار التدميرية في المباني والمنشآت والطرق والصناعات القائمة في موقعها.
- الضرر الجسدي والاجتماعي والاقتصادي للإنسان .

الآثار الإيجابية:

- إزالة نفايات النظام البيئي من مجرى المياه.
- صرف مسببات الأمراض إلى البحار ، حيث يتم التخلص منها بسبب ملوحة مياهها.
-تغذية خزانات المياه الجوفية .
- معالجة أخطار الفيضانات:

يمكن تقليل أثر الفيضانات باتباع ما يأتي :

المحافظة على الغطاء النباتي القائم بناء الجدران الاستنادية ، وزراعة الأشجار حولها حراثة الأرض بشكل يتعامد مع الانحدار بناء السدود في المواقع المحتمل حدوث الفيضانات منها تحديد مساحة معينة من مجرى الماء أو النهر بحيث تعد حرماً للوادي ، تعتمد على مدى ارتفاع منسوب مياه الفيضان ، ويمنع إقامة منشآت سكنية أو صناعية عليها .

ب – السرعة التي يتحرك بها الماء :

لا تكون سرعة انسياب الماء منتظمة في كل مكان على طول قناة المجرى المائي. وتعتمد هذه السرعة كما ذكرنا على شكل وخشونة قناة المجرى المائي، وكذلك على نمط المجرى المائي. وتزيد سرعة الانسياب كلما اقتربنا من سطح ومركز قناة المجرى المائي، حيث يكون العمق أكبر ما يكون ويقل احتكاك الماء بجدران المجرى المائي والقاع . وعندما تنحني قناة المجرى في منعطف meander فإن نطاق السرعة الأعلى ينتقل إلي الجزء الخارجي من الانحناء بينما ينتقل نطاق السرعة الأقل إلي الجزء الداخلي للمنحنى . وهذا النمط من الانسياب مهم في التعرية الجانبية لقنوات المجرى المائي، وتغير شكل أنماط المجاري المائية.

وتتناسب سرعة انسياب الماء مع انحدار قناة المجرى المائي. ويؤدي الانحدار الشديد لقاع المجرى المائي إلي الانسياب السريع، وهويحدث عادة في المجاري المائية المتواجدة في المناطق المرتفعة. وتتكون الجنادل rapids عندما تكون الانحدارات شديدة جدا حيث تكون سرعة الحركة حينئذ مساوية لسرعة السقوط الحر. وعندما يدخل المجرى المائي في بحيرة أو محيط فإن معدل السرعة يتناقض فورا إلي الصفر. وتعتمد أيضا سرعة الماء المنساب في قناة المجرى المائي على الحجم، فكلما زاد الحجم، كان الانسياب أسرع.

ج – شكل وحجم قناة المجرى المائي:

يؤثر شكل القطاع العرضي لقناة المجرى المائي على طبيعة الانسياب، وكذلك على السرعة التي يتحرك بها حجم معين من الماء في المجرى حتى المصب. ففي القنوات العميقة الضيقة ، تكون مساحة السطح لكل وحدة حجم من الماء كبيرة جدا، مما يؤدي إلي نقص سرعة الماء نتيجة زيادة الاحتكاك. وبالمثل تكون مساحة السطح كبيرة في القناة العريضة الضحلة ، والتي يكون قاعها مسطحا تقريبا. ويؤدي نقص سرعة الانسياب في كلتا الحالتين إلي تأخر الانسياب. وتكون سرعة الانسياب أكبر ما يكون في القنوات التي تكون بها أقل مقاومة للانسياب. ففي القنوات شبه الدائرية تكون مساحة السطح لكل وحدة حجم من الماء أقل ما يمكن، وبالتالي يكون بها أقل مقاومة للانسياب.

وبالإضافة إلي ما سبق، فإن الانسياب يقل في القنوات خشنة الجوانب والقاع، وكذلك تلك التي ينتشر بها الجلاميد والعوائق الأخرى، بينما يتحرك الماء بسرعة أكبر في القنوات الملساء المغطاة بالصلصال، حيث تكون المقاومة أقل.

د – انحدار قناة المجرى المائي :

يكون انحدار gradient قاع المجرى المائي أشد في مناطق أعالي النهر جهة المنبع، ويقل الانحدار لأسفل في اتجاه المصب. فكلما تحركنا نحو المصب قل الانحدار. ويمكن وصف انحدار نهر ما من المنبع حتى المصب من ملاحظة القطاع الطولي للنهر. ويقاس انحدار المجرى المائي

بالأمتار لكل كيلو متر او بالقدم لكل ميل. فإذا كان الانحدار ٥ أمتار لكل كيلو متر، فهذا يعني أن قاع النهر يهبط خمسة أمتارر أسيا لكل كيلو متر على امتداد النهر أفقيا. ويكون لكل المجاري المائية، من الجداول الصغيرة حتى الأنهار الكبيرة الشكل العام المقعر نفسه نحو المنبع، والذي يكون حادا بشكل ملحوظ بالقرب من منبع المجرى المائي، بينما يقل الانحدار ويكون مستويا تقريبا بالقرب من المصب.

ويرجع السبب في أن كل المجاري المائية، والتي قد تختلف عن بعضها في بعض التفاصيل، يكون لها القطاع الطولي نفسه إلي وجود عدد من العوامل التي تتحكم في عمليات التعرية والترسيب، حيث تكون التعرية أسرع عند منبع النهر عنها عند مصبه، بينما يكون الترسيب هو العامل الأقوى عند مصب المجرى المائي.

هـ - مستوى القاعدة (المستوى الأدنى للتعرية) :

عندما ينساب مجرى مائي في اتجاه مصبه، فإن طاقته الكامنة (طاقة الوضع) تقل حتى تصل إلي الصفر عندما يصل إلي البحر. وعند ذلك لا تكون للمجرى المائي القدرة على أن يعمق قاعه. ويسمى المستوى النهائي الذي يصل إليه قاع المجرى المائي أو النهر بحيث لا يكون قادرا على مزيد من التعرية بمستوى القاعدة (المستوى الأدنى للتعرية) base ievel للمجرى المائي. ويعتبر سطح البحر هو الحد الأدنى للتعرية لمعظم المجاري المائية ، ويستثنى من ذلك المجاري المائية التي تصب في أحواض داخلية مغلقة غير متصلة بالبحر، مثل البحيرات. كما يعتبر النهر الرئيسي مستوى قاعدة لروافده.

وعند ربط مستوى القاعدة لمعظم المجاري المائية بسطح البحر فـ'نه يجب أن نعرف أن مستوى سطح البحر في العالم قد تغير عبر الأزمنة الجيولوجية الطويلة نتيجة التغير في شكل وسعة أحواض المحيطات، ونمو أوانكماش المثالج على القارات، ولذلك فإن مستوى القاعدة يتغير دائماً ببطء.

وتجدر الإشارة إلي أن كل المجاري المائية لا تنساب بانتظام من المنبع حتى المصب، فقد تعترض البحيرات بعض هذه المجاري، حيث تتكون هذه البحيرات خلف سدود طبيعية نتجت عن انزلاقات أرضية أو رواسب جليدية أوانسياب للابة. وعندما ينساب مجرى مائي في بحيرة، فإن سطح البحيرة يعمل كمستوى قاعدي محلي للتعرية. وقد ينخفض ماء البحيرة ويصرف خارجها لأي سبب من الأسباب. وعند تغير مستوى القاعدة المحلي، فإن المجرى المائي يغير من شكل مقطعه الطولي ليكون في حالة اتزان مع الظروف المتغيرة.

كما أن إقامة السدود الصناعية الكبرى على الأنهار يقطع الانسياب الطبيعي للمجرى المائي. وتبنى هذه السدود بغرض تخزين الماء والتحكم في الفيضان وتوليد الطاقة الكهربية (طاقة كهرومائية). وتعمل هذه السدود والماء المتجمع أمامها على رفع مستوى القاعدة بالنهر، وكذلك

تغيير شكل القطاع الطولي للنهر ليتوافق مع الظروف الجديدة. ويرجع السبب في ذلك إلي بناء السد الصناعي على المجرى المائي يؤدي إلي تكوين خزان، يقوم بحجز معظم الرواسب التي كان يحملها هذا المجرى إلي المحيط. ويؤدي ذلك إلي تراكم الرواسب التي تملأ الخزان في النهاية. وهذه واحدة من المشكلات التي تواجه إنشاء السدود على المجاري المائية، وتتنبأ بعض الدراسات أن بحيرة ناصر أمام السد العالي جنوب أسوان بمصر سيمتلئ نصفها تقريباً بالطمي خلال القرن الحادي والعشرين.

و – الحمولة :

تختلف قدرة المجاري المائية على التعرية وحمل الفتات والرواسب. ويستطيع الماء المنساب انسيابا رقائقيا (صفائحيا) أن يحمل أضغر وأخف الحبيبات فقط، وهى عادة في الحجم الصلصال.

أما الماء المنساب انسيابا مضطربا، فإنه يستطيع أن يحرك حبيبات تتراوح بين حجم الصلصال وحجم الحصى الكبير (جليمود). وعندما يحمل الماء المنساب انسيابا مضطربا الحبيبات من قاع المجرى المائي، فإنه يحملها في اتجاه المصب. كما يقوم بدحرجة ودفع الحبيبات على القاع. وتشمل الحمولة المعلقة suspended load للمجرى المائي كل المادة المعلقة في الماء المنساب سواء كانت بصورة مؤقته أو دائمة. أما حمولة القاع bed load للمجرى المائي فهى تشمل المادة التي يحملها المجرى المائي على امتداد قاع المجرى بالانزلاق أو الدحرجة .

وكلما كان التيار أسرع، كلما كان حجم الحبيبات المنقولة كحمولة معلقة أو حمولة قاع أكبر. وتسمى قدرة المجرى المائي على حمل مادة أو فتات من حجم معين بالكفاءة competence. ويلاحظ أن القدرة على نقل هذا الفتات تقدر بحجم الحبيبات المنقولة وليس بكميتها. وعندما تزيد سرعة التيار ويحمل الحبيبات الخشنة تزداد الحمولة المعلقة، وتتحرك في نفس الوقت كميات أكبر من مادة القاع، وتزداد أيضاً حمولة القاع. وكما هو متوقع، فكلما زاد حجم الانسياب زادت الحمولة المعلقة أو حمولة القاع التي يستطيع هذا الانسياب حمله. وتسمى كمية الرواسب الكلية المحمولة بالانسياب بقدرة capacity المجرى المائي.

ويؤثر التداخل بين السرعة وحجم الانسياب في كل من كفاءة وقدرة المجرى المائي، فيحمل نهر الميسيسيبي على امتداد معظم مساره حبيبات يتراوح حجمها بين دقيقة إلي متوسطة الحجم فقط أي صلصال ورمل، عند السرعات المتوسطة ولكن بكميات كبيرة. أما في حالة مجرى مائي جبلي صغير حاد الانحدار وسريع الانسياب، فإنه يستطيع حمل الجلاميد، ولكن بكميات قليلة فقط. وسسنناقش نقل الرواسب وتعرية الأرض في أجزاء أخرى تالية.

- أشكال القنوات النهرية:

تختلف القنوات النهرية في حجمها وشكلها. ويرجع تعدد أشكال القنوات النهرية إلي اختلاف أنواع العلاقات التي تربط بين انحدار القنوات وتصريفها وحمولتها من الرواسب. ونناقش هنا ثلاثة أشكال من القنوات النهرية وهى المستقيمية والمنعطفة أو المتثنية والمجدولة أو المضفرة.

أ – القنوات المستقيمة :

يعتبر وجود أجزاء مستقيمة في القنوات النهرية الطبيعية أمرا غير شائع. وتنشأ الاستقامة في القنوات النهرية عند مرور القناة في منحدرات شديدة أو أن تتبع خطوط انكسارات أو صدوع أو فواصل في القشرة الأرضية. بينما يسمى شكل القناة النهرية التي بها عدة انحناءات شكلا متعرجا. وإذا فحصنا جزءا مستقيما من قناة طبيعية عن قرب، لوجدنا أن به بعض الانحناء أو التعرج، حيث لا يتبع الخط الذي يصل بين أعمق الأجزاء في القناة مساراً مستقيماً متساوي البعد بين الضفتين، ولكنه يتعرج جيئة وذهابا عبر القناة. وقد ينتج مثل هذا النمط في البداية نتيجة تغيرات عشوائية في عمق القناة. وفي المناطق التي يكون فيها عند أحد جانبي القناة مياها عميقة، تتراكم الرواسب على الجانب المقابل من القناة على هيئة حاجز bar، حيث تكون السرعة أقل. ويعمل الانسياب المتعرج عبر القناة على تكوين تعاقب من الحواجز على جانبي القناة بالتبادل. وتعتبر قناة مجرى النيل في مصر قناة مستقيمة تقريبا أو حتى متعرجة، ولكن لا يعتبر نهر النيل نهرا منعطفا، على الرغم من احتوائه على القليل من المنعطفات خاصة في الدلتا.

ب – القنوات المنعطفة أو المتثنية :

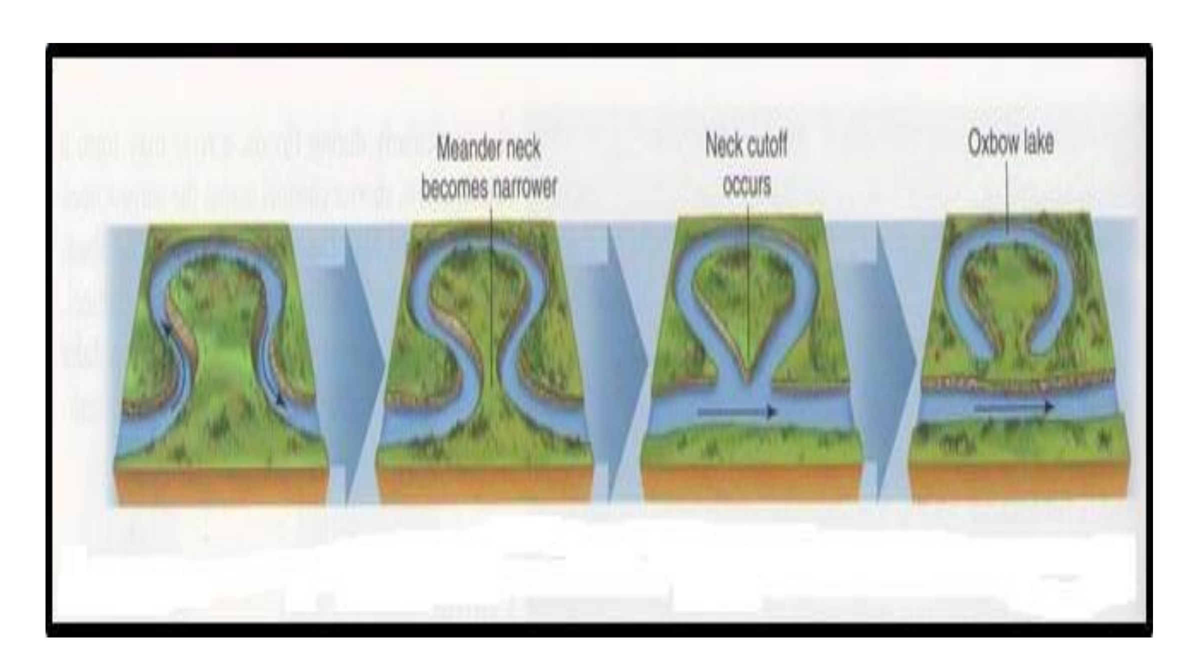
تتكون قناة المجرى المائي في عديد من المجاري المائية من تتابع من الانحناءات والأقواس الملساء المتماثلة في الحجم. وتشبه هذه الانحناءات والأقواس في شكلها الطريق المتعرج في منطقة جبلية. ويسمى هذا الانحناء في قناة المجرى المائي بالمنعطف meander، وهو مشتق من الاسم اللاتيني لنهر مندريس Menderes River في تركيا، والذي يتميز بمجراه المتعرج. ويجب ملاحظة أن المنعطفات لا تتكون مصادفة، بل تتكون عادة في مجاري مائية تنساب على منحدرات لطيفة الانحدار في سهول أو أراض منخفضة، حيث تقطع القنوات رواسب غير متماسكة (رمل ناعم وغرين أو طين) أو صخر أساس سهل التعرية. وتقل المنعطفات على المنحدرات المرتفعة وصخور الأساس الصلبة، حيث تتبادل المنعطفات في تلك المناطق مع امتدادات مستقيمة نسبياً وطويلة. وقد يرجع وجود المنعطفات أيضاً إلي أن انسياب الماء يكون مضطرباً، ويعمل أي انحناء أو عدم انتظام في القناة إلي انسياب الماء إلي الضفة المقابلة. وتتسبب قوة الماء التي تضرب ضفة (جانب) المجرى المائي في حدوث نحت وتقويض، مما يؤدي إلي بدء انحناء صغير في مجرى النهر. ومع استمرار اصطدام التيار بالجانب الخارجي للقناة، ينمو المنحنى ويتحول إلي منعطف كبير. وكما ذكرنا سابقاً، فإن المياه تكون ضحلة وسرعتها منخفضة عند الناحية الداخلية من المنعطف، حيث تتراكم بعض حمولة الرواسب خشنة

الحبيبات، لتكون ما يعرف برواسب جانب النهر أي الحاجز الحرفي (الجانبي) point bar عند الناحية الداخلية لحلقة المنعطف . وتؤدي هاتان العمليات الرئيسيتان من النحت في الناحية الخارجية من المنعطف، والترسيب علىالناحية الداخلية، إلي تحرك حلقة المنعطف وهجرتها جانبيا حيث يزيد الراسب على إحدى ضفتي المجرى المائي بينما ينقص على الجانب الآخر.

وهكذا، فإن المنعطفات تغير مكانها من جانب إلي آخر، كما تغير مكانها أيضا في المجرى المائي في اتجاه المصب، حيث تتحرك بطريقة ملتوية مثل الحية، أو كما يتحرك حبل طويل على شكل ثعبان . وقد تكون هجرة المنعطفات سريعة، حيث قدرت حركة بعض المنعطفات في نهر الميسيسيبي بحوالي ٢٠ متراً في العام. وحينما تتحرك المنعطفات، فإن الحواجز الحرفية تتحرك أيضاً، ويتكون تراكم من الرمل والغرين على جزء من السهل الذي هاجرت خلاله القناة. ويؤدي نشأة المنعطف وتطوره إلي قلة انحدار النهر.

وتنمو الانحناءات مقتربة من بعضها أكثر فأكثر بطريقة غير منتظمة. وعندما يصبح منحنى المنعطف واضحاً وبارزاً، فإنه يكون دائرة كاملة تقريباً. وفي النهاية، تقطعقناة النهر حلقة المنعطف وتسير في مجرى آخر أقصر. ويؤدي قطع النهر cutoff للمنعطف إلي زيادة حدة

انحدار مجرى النهر، مما يؤدي إلي أن يتخلى النهر تماماً عن حلقة المنعطف القديمة نتيجة الترسيب على امتداد حافة القناة الجديدة، وتبقى حلقة المنعطف القديمة على شكل بحيرة هلالية الشكل، تعرف ببحيرة قوسية (بحيرة قرن الثور) oxbow lake ، أو بحيرة متقطعة أو متبقية.



الالتواءات النهرية.

ج – القنوات المجدولة أو المضفرة:

يكون لبعض القنوات النهرية عدد من القنوات وليس قناة واحدة. وتتفرع القنوات ثم تتحد في هذه المجاري المجدولة أو المضفرة braided streams في نمط يشبه الشعر المجدول. وينساب الماء في القنوات المجدولة في قناتين متجاورتين أو أكثر ولكنها متصلة ببعضها، حيث يفصل

بينها حواجز أو جزر . ويتكون هذا الشكل نتيجة وجود حمل رسوبي كبير وتغير كبير في حجم الماء المنساب، بالإضافة إلي وجود جوانب للنهر سهلة التعرية، والتي تستطيع أن تمد المجرى المائي بحمل وافر من الرواسب. فإذا كان النهر غير قادر على تحريك كل الحمولة الرسوبية الموجودة، فإنه يكون راسباً خشن الحبيبات على هيئة حاجز يقسم الانسياب محليا ويركزه في الأجزاء الأعمق من القناة على أحد الجانبين. وقد يرتفع هذا الحاجز لأعلى فوق سطح الماء نتيجة الترسيب المستمر ليكون جزيرة قد تصبح مستقرة نتيجة نمو النباتات فوقها. ويبلغ عدد الجزر في نهر النيل من أسوان إلي القاهرة ٤٩٢ جزيرة، هذا عدا الجزر الصخرية جنوب أسوان. وتكون معظم هذه الجزر مستطيلة الشكل، وتتكون من الرمل والغرين، ويقع معظمها في الأجزاء المنعطفة من قناة مجرى النيل.

- التعرية بالمجاري المائية :

يبدأ النحت بالمياه حتى قبل أن يتجمع الماء في مجرى مائي محدد. وتحدث التعرية إما بالتصادم عندما تضرب قطرات الماء الأرض، أو بانسياب مياه الأمطار الغزيرة فوق سطح الأرض. فعندما تضرب قطرات المطر الأرض العارية فإنها تزيح أجزاء صغيرة من التربة السائبة وتنتشر في كل الاتجاهات، حيث تتحرك مكونات التربة فوق المنحدرات. وجدير بالملاحظة أن تأثير قطرة واحدة يكون محدودا، بينما يكون تأثير عدد ضخم من القطرات كبيرا جداً في التعرية. كما يلاحظ أن تأثير قطرات الماء على الأرض المغطاة بالنبات يكون محدودا.

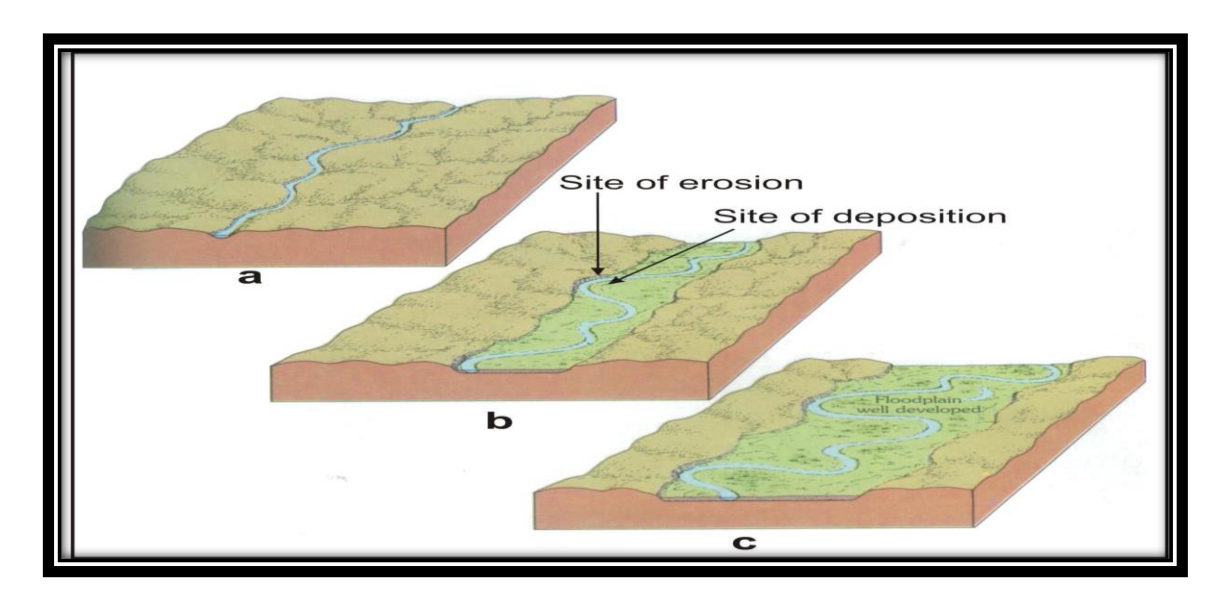
ونستطيع أن نلاحظ تيار الماء وهو يلتقط الرمال السائبة من قاع المجرى بسرعة ويحملها بعيداً ويتعرى القاع. وتستطيع المجاري المائية عند ارتفاع مستويات الماء بها أثناء الفيضان أن تقطع جوانب المجاري المائية غير المتماسكة، حيث تتدهور وتسقط في الماء المنساب وتحمل بعيداً.

وتعتمد قدرة المجرى المائي على التقاط حبيبات الراسب السائبة وتحريكها على امتداد القناة على مدى اضطراب الماء وسرعته. وتزيد قدرة الماء المضطرب على حمل حبيبات أكبر حجما كلما زادت سرعته، ويستثنى من ذلك الغرين والصلصال، حيث إنها تميل للتماسك وتكون كتلة متماسكة ملساء يصعب تعريتها إلا تحت ظروف سرعة عالية.

وجدير بالذكر، أننا لا نستطيع ملاحظة التعرية البطيئة للصخر الصلب، حيث يقوم الماء الجاري بتعرية الصخر الصلب بعمليات كالبري والتجوية الكيميائية والطبيعية أو التقويض الذي ينشأ من تأثير التيارات.

أ – البرى :

يعتبر البري إحدى الطرق الرئيسية التي يستطيع بها النهر تكسير الصخر وتعريته. والبري abrasion هو تآكل الصخر ميكانيكيا نتيجة احتكاكه بالحصى والرمال التي تحملها المياه. وقد يؤدي دوران بعض الحصى والحصى الكبير (الجلاميد) في الدوامات المتحركة على قاع النهر إلي تكوين حفر ناعمة الجدران دائرية الشكل تشبه القدر تعرف بالحفر الوعائية potholes ، حيث تستمر القطع الصخرية الخشنة في الدوران والحركة داخل الحفر بفعل التيارات النهرية.



Stream eroding its flood plain

ب – التجوية الكيميائية والطبيعية :

تعمل التجوية الكيميائية على تحلل الصخور في قيعان القنوات النهرية، وذلك بتغيير التركيب المعدني للصخر ممايؤدي إلي ضعفه على امتداد الكسور والفواصل، كما يحدث على سطح اليابسة. أما التجوية الفيزيائية فقد تكون عنيفة نتيجة ارتطام الجلاميد والتصادم المستمر للحصى والرمال مما يؤدي إلي شطر الصخر وتجزئته على امتداد الكسور. ويتكسر الصخر في الأنهار نتيجة التعرض لهذه التصادمات بمعدل أكبر بكثير مقارنة بالتجوية البطيئة على جوانب التلال اللطيفة الانحدار فوق اليابسة. وقد تستطيع بعض الدوامات القوية اقتلاع وسحب بعض الكتل الكبيرة من صخر الأساس بقاع النهر نتيجة التجوية والتصادم.

وتكون تعرية الصخور قوية خاصة عند الجنادل ومساقط المياه (الشلالات). والجنادل rapids مناطق في مجرى النهر يكون التيار فيها أسرع من غيرها نتيجة زيادة مفاجئة في انحدار المجرى، ولكن يكون الانحدار غير كاف لإحداث مساقط مياه (شلالات) waterfalls والتي تتكون عندما تكون الانحدارات شديدة جدا، حيث تساوي سرعة تحرك المياه حينئذ سرعة السقوط الحر. وتتسبب سرعة الماء والاضطراب الكبير في تكسر الكتل الكبيرة إلي قطع صغيرة

وتحمل بعيداً بواسطة التيار القوى.ويتميز نهر النيل شمال الخرطوم بوجود كثير ن الجنادل rapids والتي تسمى بالشلالات cataracts وعددها ستة، يوجد آخرها عند أسوان. وجدير بالملاحظة أن تسمية تلك الجنادل بالشلالات فيه شئ من التجاوز، وأنه لا توجد مساقط للمياه وإنما هى مواضع من النهر يشتد فيها انحدار مجراه وتعترضها صخور صلبة وجنادل. وتشغل تلك الشلالات ٥٦٥كم من مجرى النيل حيث ينخفض المجرى ١٩٢ مترا ويكون الانحدار ١ : ٣٠٠٠.

ج – التقوض الناشئ عن تأثير التيارات :

يؤدي تصادم الكميات الضخمة من الماء المندفع بسرعة كبيرة وبها الجلاميد المتحركة إلي تعرية طبقات الصخور بسرعة عند قيعان المساقط المائية. وتسبب المساقط الماءية أيضاً تعرية الصخور الموجودة تحتها والمكونة للجرف الذي يكون المساقط. ويعمل تقويض undercutting هذه الجروف بالتعرية على انهيار الطبقات العليا وتراجع المساقط نحو المنابع. وتكون التعرية بالمساقط المائية أسرع عندما تكون طبقات الصخر في وضح أفقي، وتكون الصخور المقاومة للتعرية عند قمة المقسط المائي بينما تكون الصخور اللينة مثل الطفل عند أسفله. وتوضح الوثائق التاريخية أن الجزء الرئيسي لشلالات نياجرا، وهى أشهر المساقط المائية في شمال أمريكا، يتحرك في اتجاه منبع النهر بمعدل متر واحد كل عام.

– حمولة المجاري المائية :

تتكون النسبة الصلبة من حمولة المجاري المائية من جزأين:

يسمى الجزء الأول منهما حمولة القاع bed load ويتكون من الحبيبات الخشنة التي لا يقدر المجرى على حملها، فيقوم بدفعها أو دحرجتها على قاع المجرى.

أما الجزء الثاني فيسمى الحمولة المعلقة suspended load ويتكون من الحبيبات الدقيقة التي تكون معلقة في الماء وغير ملامسة لقاع المجرى. وحين تترسب هذه الحبيبات الصلبة فإنها تكون طميا alluvium، ويشمل الطمي أي راسب فتاتي غير متماسك ترسب من مجرى مائي. كما تحمل المجاري المائية أيضا مواد ذائبة تسمى الحمولة الذائبة dissolved load وهى مواد تكونت أساسا نتيجة التجوية الكيميائية.

أ – حمولة القاع :

تتراوح حمولة القاع عموما ما بين ٥ إلي ٥٠% من الحمولة الكلية لمعظم المجاري المائية. وتتحرك مكونات حمولة القاع بسرعة أقل من سرعة المجرى المائي، لأن المكونات لا تتحرك بسرعة ثابتة، ولكن تتحرك المكونات بطريقة متقطعة حيث تدفع أو تتدحرج الحبيبات على قاع المجرى المائي. وعندما تكون القوى كافية لرفع حبيبة، فإنها قد تتحرك مسافة قصيرة بالوثب،

وهى حركة وسط بين الدحرجة والتعليق. ويشمل الوثب (القفز) saltation حركة الحبيبة إلي الإمام في قفزات قصيرة متتابعة على امتداد مسارات مقوسة . ويستمر القفز طالما كانت التيارات في حالة مضطربة بدرجة كافية لرفع الحبيبات وحملها في اتجاه المصب. ويرتبط توزيع رواسب حمولة القاع في قناة المجرى المائي بتوزيع السرعة، حيث يتركز الراسب الخشن الحبيبات عند نطاقات السرعة العالية، بينما يبتعد الراسب الدقيق الحبيبات إلي نطاقات السرعة البطيئة.

ب – الحمولة المعلقة:

ترجع الخاصية الطينية إلي كثير من المجاري المائية إلي وجود حبيبات دقيقة من الغرين والصلصال تتحرك وهى معلقة. وتأتي معظم الحمولة المعلقة من الحطام الصخري (الأديم) regolithدقيق الحبيبات والذي غسل من مناطق غير محمية بالنباتات، ومن الراسب الذي تم تعريته ونقله من ضفتي المجرى المائي بواسطة المجرى ذاته. فمثلا يرجع اللون الأصفر لنهر الصين الأصفر (أو هوانج هى Huang He) إلي الحمولة الكبيرة من الغرين الأصفر. وقبل إنشاء السد العالي بأسوان بمصر كان لون نهر النيل يتغير إلي اللون البني لاحتوائه على نسبة عالية من الغرين والصلصال.

وتميل حبيبات الغرين والصلصال لأن تبقى معلقة في الماء المضطرب فترة أطول منها في المياه غير المضطربة، حيث تزيد سرعة التيارات المتحركة لأعلى في المجرى المائي المضطرب عن السرعة التي يتم عندها ترسيب هذه الحبيبات من الغرين والصلصال تحت تأثير الجاذبية. ويحدث الاستقرار والترسيب فقط حين تنخفض السرعة ويتوقف الاضطراب، مثلما يحدث في بحيرة أو بحر.

ج – الحمولة الذائبة:

تحتوي مياه كل المجاري المائية، حتى أكثرها شفافية وصفاء، على مواد كيميائية مذابة تكون جزءا من حمولة المجرى المائي. وتكون سبعة أيونات فقط كل المحتوى المذاب في معظم الأنهار وهى البيكربونات (HCO31-) والكالسيوم (Ca2+) والكبريتات (SO42-) والكلوريد (Cl1-والصوديوم (Na1+) والماغنسيوم (Mg2+) والبوتاسيوم (K1+). وعلى الرغم من أن الحمولة المذابة في بعض المجاري المائية تكون نسبة صغيرة فقط من الحمولة الكلية، إلا أنه في بعض المجاري المائية الأخرى تكون نسبته أعلى من النصف. وعموما، فإن نسبة الحمولة المذابة في المجاري المائية التي تتلقى إمدادات كبيرة من المياه الجوفية تكون أعلى منها في المياه التي تأتي أساسا من الماء الجاري على سطح الأرض.

د – التغير في حجم الحبيبات وتركيب الرواسب في اتجاه مصب النهر:

يرتبط حجم الحبيبات التي يمكن للمجرى المائي أن ينقلها بسرعة الانسياب. لذلك، فإنه من المفترض أن يزيد متوسط حجم الرواسب في اتجاه مصب مجرى النهر بسبب زيادة سرعة جريان الماء، ولكن ما يحدث في الواقع هة أن حجم الحبيبات يقل في اتجاه مصب مجرى النهر. ويرجع سبب هذه النتيجة غير المتوقعة إلي عمليتي الفرز sorting والبري abrasion، حيث تنساب روافد المجاري المائية للأنهار الكبيرة في المناطق الجبلية في قنوات تتغطى أرضيتها

بحصى خشن قد يشمل جلاميد كبيرة. وحيث أن الرواسب دقيقة الحبيبات تتحرك بسهولة، حتى بواسطة المجاري المائية ذات التصريف المنخفض، لذلك فإنها تحمل بعيداً بالمجاري المائية الصغيرة في المناطق الجبلية لمنابع الأنهار، تاركة الرواسب خشنة الحبيبات خلفها. ومع مرور الوقت، فإن حمولة القاع الخشنة تقل تدريجيا في الحجم نتيجة البري والتصادم أثناء الحركة ببطء على امتداد القاع. وفي النهاية، وعندما يصل المجرى المائي للبحر، تكون حمولة القاع قد تكونت أساساً من رواسب لا يزيد حجم الحبيبات فيها عن حجم الرمل.

أما بالنسبة للتغير في تركيب الرواسب في اتجاه مصب النهر، فإنه من المعروف أن المجاري المائية الكبيرة تقطع صخوراً منكشفة من مختلف الأنواع، لذلك فإن حمولة المجرى المائي يتغير تركيب الرواسب فيها على امتداد قناة المجرى المائي، حيث تضاف رواسب من مختلف الأنواع. ويقدم نهر النيل الرئيسي خلال جريانه من الجزء الجنوبي بمصر إلي الدلتا ماءً يرد إليه من ثلاثة روافد رئيسية هى النيل الأبيض والنيل الأزرق ونهر عطبرة . ويساهم النيل الأبيض بحوالي ثلث التصريف الكلي discharge total تقريباً، وحوالي ٣% من حمولة الرواسب في مجرى النيل الرئيسي. وتساوي نسبة معدن الأمفيبول (والذي جوى من الصخور المتحواة في هضبة وسط أفريقيا) إلي البيروكسين حوالي ٣,٩٧، أما النيل الأزرق الذي يصرف المرتفعات الأثيوبية فإنه يساهم بأكثر من نصف التصريف الكلي، وحوالي ثلاثة أرباع حمولة القاع. وتكون نسبة الأمفيبول: البيروكسين حوالي ٧٩: ٢١، مما يعكس طبيعة الصخور البركانية لمنطقة المنبع. ويساهم نهر عطبرة بحوالي ١٤% من التصريف وحوالي ربع حمولة القاع. ويسود معدن البيروكسين في هذا المجرى المائي حيث تبلغ نسبة الأمفيبول إلي البيروكسين ٩: ٩١. وتختلط هذه النسب المختلفة من المعادن مع بعضها عند دخولها المجرى الرئيسي للنيل لتعطي نسبة أمفيبول: بروكسين ٥٩: ٤١. وتعكس هذه النسبة بدرجة كبيرة الإضافة الرئيسية لراسب غنى بالأمفيبول من النيل الأزرق، والذي يؤثر على الراسب في مجرى النيل الرئيسي.

<u>- رواسب المجاري المائية:</u>

عندما يفقد مجرى مائي طاقة حركته نتيجة التغير في الانحدار أو السرعة أو التصريف، تضعف قدرته على النقل، ويرسب جزءاً من حمولته. وتتكون رواسب مميزة في المجاري المائية على امتداد حواف قناة المجرى وقيعان الوادي ومقدمات الجبل وحافة البحيرة أو المحيط، حيث إنها تمثل الأماكن التي تحدث فيها تغيرات في طاقة المجرى المائي.

<u>أ – السهول الفيضية والجسور الطبيعية:</u>

عندما يرتفع منسوب الماء في المجرى المائي أثناء فيضان عال، فإن الماء يفيض ويغمر ضفتي المجرى ويغرق السهل الفيضي floodplain المجاور، وهو جزء مسطح مستوي من وادي المجرى المائي تغمره مياه الفيضان جسر طبيعي natural levee ، وهو أرض مرتفعة نسبياً وتدية الشكل، تمتد في مساحة ضيقة على طول حافة قناة المجرى، وهو يمثل أعلى جزء في السهل الفيضي. ويتكون الجسر الطبيعي عندما يفيض الماء المحمل بالرواسب خارج قناة

المجرى المائي المغمورة تماما أثناء الفيضان، حيث يحدث نقص مفاجئ في السرعة والعمق والاضطراب عند حواف القناة. ويؤدي النقص المفاجئ في العوامل السابقة إلي ترسيب الجزء الخشن من الحمولة المعلقة (عادة رمل ناعم وغرين خشن) على امتداد مساحة طولية ضعيفة (شقة) على حواف القناة ليتكون بهذه الطريقة الجسر الطبيعي، بينما يترسب بعيداً الغرين الأدق حجما والصلصال في الماء الساكن الذي يغطي السهل الفيضي.

وقبل بناء السد العالي بأسوان كان الغرين المترسب في أوقات الفيضان يغطي السهل الفيضي لنهر النيل. ويبلغ أقصى عرض للسهل الفيضي ٢٣كم عند مدينة بني سويف، بينما لا يوجد سهل فيضي عند أسوان. ويزداد عرض السهل الفيضي عموما كلما اتجهنا شمالا . ويلاحظ أن عرض السهل الفيضي غير متماثل على جانبي مجرى نهر النيل، وأنه عموما أعرض على الجانب الغربي عنه على الجانب الشرقي، فيما عدا منطقة قنا.

ب – الشرفات (المصاطب النهرية) :

تشتمل معظم وديان المجاري المائية على امتدادات طولية من الأرض على جانب النهر، تكون على هيئة مصاطب طمية مستوية أعلى السهل الفيضي تعرف بالشرفات. وتوجد عادة شرفة مزدوجة واحدة على كل جانب من جوانب المجرى المائي، ويكون منها في الغالب عدة أزواج ومجرى النهر محصورة بين الزوج الأسفل منها. والشرفة (المصطبة النهرية) terrace هى بقايا سهل فيضي مهجور، وتتكون عموما من رواسب الفيضان.



المصاطب او المدرجات النهرية

ويبدأ تكون الشرفات عندما يكون المجرى المائي سهلا فيضيا. وقد يحدث تغير في توازن المجرى المائي مما يؤدي لأن يقطع المجرى المائي السهل الفيضي عند مستوى أقل انخفاضا، حتى يصل إلي مستوى لا يستطيع الفيضان فيه أن يصل إلي السهل الفيضي السابق. ويعيد المجرى المائي توازنه مرة أخرى عند المستوى المنخفض. وقد يكون المجرى المائي سهلا فيضيا آخر، يؤدي إلي تكون زوج آخر من الشرفات المنخفضة.

وقد أوضحت الدراسات وجود سلسلة من الشرفات على جانبي وادي النيل مكونة من الحصى. وقد كونت الأنهار المتعاقبة الشرفات منذ زمن البليوسين المتأخر. هذا ولم تحفظ شرفات نهر النيل في كل مكان على جانبي الوادي. وقد أزيلت بعض هذه الشرفات بالأنهار المتعاقبة، بينما لم يتكون بعضها الآخر من البداية.

ج – المراوح الطميية (الفيضية) :

عندما تنساب مجاري مائية في وديان ضيقة وشديدة الانحدار في المناطق الجبلية، ثم تنبثق فجأة إلي وديان منبسطة القاع نسبيا أو مناطق سهلية، فإنه يحدث تغير في الظروف عند مقدمة الجبل وتترسب على امتداد هذه المقدمة كميات كبيرة من الرواسب على هيئة تراكمات مروحية أو مخروطية الشكل، تسمى مراوح طميية (فيضية) alluvial fans . وينتج هذا الراسب عن الانخفاض المفاجئ في سرعة جريان الماء بسبب اتساع عرض المجرى المائي كثيرا وانخفاض شدة الانحدار عند مقدمة الجبل. وتأخذ المروحة الطميية (الفيضية) شكلا محدبا لأعلى يصل بين الجزء المنحنى الذي يمثل أشد انحداراً للجبل من ناحية ومنحنى الوادي اللطيف الانحدار أو السهول من ناحية أخرى. وتسود المواد الخشنة من الجلاميد إلي الرمل على المنحدرات الحادة العلوية من المروحة، بينما تتكون الرواسب السفلية من رمال أكثر دقة وغرين وصلصال. وقد تتكون على مقدمة الجبل مراوح طميية (فيضية) أخرى من مجاري مائية مجاورة تتصل معا لتكون ما يسمى بالبهادا bajada والتي تمتد عند حضيض الجبال بشكل طولي. مثال ذلك النطاق الذي يمتد عند أقدام جبال الصحراء الشرقية في مصر مكونا الحد الشرقي للسهل الفيضي. وتكون هذه المناطق غنية بالمياه الجوفية نظرا لوجودها عند مخارج الأودية من ناحية وخشونة رواسبها من ناحية أخرى.

د – الدلتاوات :

عندما تنساب الأنهار أو المجاري المائية عموماً في مياه البحار أو المحيطات فإنها تختلط مع المياه المحيطة وتنخفض سرعتها بدرجة كبيرة وتفقد تدريجيا طاقة حركتها. وتستطيع بعض الأنهار الكبيرة مثل الأمازون والمسيسيبي أن تحتفظ ببعض التيارات لعدة كيلومترات في البحر، بينما تختفي تقريباً تيارات بعض الأنهار مثل نهر النيل عند المصب مباشرة، حيث تصطدم بالأمواج القوية.

وتتلاشى تدريجيا تيارات المجرى المائي عندما تلتقي بمياه البحر أو البحيرة وتفقد قدرتها على نقل الرواسب كلما تقدمت إلي الأمام، وتبدأ حمولة النهر في الترسب حسب حجم الحبيبات من الخشن إلي الناعم. فتبدأ الرمال الخشنة في الترسب أولاً عند المصب تليها الرمال الدقيقة الحبيبات ثم الغرين فالصلصال بعيدا عن الشاطئ. وتكون كل هذه الأحجام المختلفة من المواد المترسبة جسماً مسطحاً تقريباً (رصيف ترسيبي) عند مصب المجرى المائي على قاع البحر أو البحيرة الذي ينحدر نحو المياه العميقة بعيداً عن الشاطئ. ويشبه هذا الجسم المسطح المثلث أو المروحة ويطلق عليه مصطلح دلتا dalta. ويرجع اسم الدلتا إلي المؤرخ اليوناني هيرودوت

الذي زار مصر حوالي سنة ٤٥٠ قبل الميلاد، وأطلق هذا الاسم على الشكل شبه المثلث لدلتا نهر النيل لتشابهه مع الحرف اليوناني دلتا . وتستمد كل الدلتاوات الأخرى في العالم اسمها من دلتا نهر النيل .

وكما سبق أن أوضحنا، فإن ماء النهر المندفع عندما يلتقي بماء البحر أو البحيرة فإن حبيبات حمولة القاع تترسب أولاً، ثم تتبعها الرواسب العالقة. ولذلك، تتدرج الطبقة التي تمثل حدثاً ترسيبياً واحداً (مثل فيضان واحد) من رواسب خشنة عند مصب النهر إلي رواسب أدق في حجم الحبيبات بعيداً عن الشاطئ . ويؤدي تراكم عديد من الطبقات المتتابعة إلي تكوين سد أو جسر ينمو باطراد ناحية البحر . ويسمى الجزء السميك من الطبقة المترسبة من الدلتا والمنحدر بشدة والذي يتميز بحبيباته الخشنة بطبقة الواجهة foreset bed. وتتغير سحنة هذه الطبقة لتصبح حبيباتها أدق حجما كلما تحركنا من الشاطئ ناحية البحر، ويغطي هذا الجزء من طبقة الدلتا مساحة واسعة من القاع، ويطلق عليه طبقة القاع bottomset bed.

ومع استمرار الترسيب تنمو الدلتا للخارج، حيث تتراكب طبقات الواجهة الخشنة الحبيبات فوق طبقات القاع دقيقة الحبيبات. وهكذا، تمتد قناة النهر تدريجيا للخارج لتتراكب فوق الدلتا النامية. وتسمى كل من الرواسب خشنة الحبيبات والرواسب دقيقة الحبيبات المترسبة بين القنوات بطبقات القمة topset bed. وتتراكب طبقات القمة والتي تكون في وضع أفقي تقريباً فوق طبقات الواجهة في الدلتا .

وعندما يقترب النهر من مصبه عند الدلتا، حيث يكون الانحدار مستويا تقريباً مع مستوى سطح البحر، فإن نمط الصرف ينعكس، أي تتحول من تجميع المزيد من الماء من الروافد tributaries، إلي تكوين نمط أفرع التوزيع distributaries، والذي يكون عبارة عن أنهار صغيرة تتفرع من القناة الرئيسية إلي المصب. وهكذا تستقبل أفرع التوزيع الماء والرواسب من القناة الرئيسية وتوزيعها في عدة قنوات – أي أنها تعمل عكس عمل الروافد.

وقد كون عديد من الأنهار الكبيرة في العالم دلتاوات ضخمة عند مصباتها، مثل أنهار النيل والأمازون والمسيسيبي. ولكل دلتا مميزاتها الخاصة، والتي تحددها بعض العوامل مثل تصريف النهر وطبيعة وحجم الحمولة وشكل صخر الأساس الساحلي بالقرب من الدلتا وطوبوغرافية المنطقة المغمورة على مسافة من الشواطئ وشدة واتجاه التيارات والأمواج. وتنقل معظم الأنهار والمجاري المائية الكبيرة كميات ضخمة من الرواسب العالقة الدقيقة إلي البحر.

ومن الظواهر المهمة في تكوين الدلتاوات تغير المجرى الكلي للنهر. فإذا لم تستطع أفرع النهر الوصول إلي المحيط بسبب نقص الانحدار وقدرة النهر على الانسياب التدريجي، فإن النهر يبدأ في تحويل مساره إلي مجرى جديد أقل طولا، وينقل هذا المجرى الجديد بالتالي الرواسب إلي الموضع الجديد. ونتيجة لهذا التغير، فإن الدلتا قد تنمو في مكان ما لمئات أو لآلاف السنين، ثم تتحول إلي موضع جديد وتبدأ في النمو في اتجاه آخر. وتكون الأنهار الكبيرة، مثل نهر المسيسيبي أو نهر النيل، دلتاوات كبيرة تبلغ مساحتها عدة آلاف من الكيلومترات المربعة. وقد

نمت دلتا المسيسيبي مثل عديد من الدلتاوات الأنهار الكبيرة الأخرى خلال ملايين السنين، حيث بدأت في التكون منذ حوالي ١٥٠ مليون سنة مضت.

وقد تغير موضع دلتا المسيسيبي خلال الستة آلاف سنة الماضية. كما تغير موضع دلتا النيل أيضا كما سنوضح فيما بعد. كما نشأت بعض الدلتاوات في مصر لأنهار سابقة لنهر النيل وغيرت موضعها أيضا. فقد أوضحت الأبحاث الحديثة أنه كان يجري على أرض الصحراء الغربية بمصر منذ الأوليجوسين عدة أنظمة نهرية وليس نظاما نهريا واحدا، والتي تعرف بالأنهار أسلاف النيل Nile Ancestors. فقد نشأ في حين الأوليجوسين نظاما نهريا ينساب في اتجاه شمال غرب، حيث كون رواسب دلتاوية في الجزء الأوسط من الصحراء الغربية . ثم سادت ظروف مشابهة لتلك الظروف أيضا في حين الميوسين المبكر والأوسط. وقد أدى تكون ذلك إلي تكون دلتا ضخمة في الجزء الشمالي من منخفض الفيوم، كانت أكبر كثيرا من دلتا النيل الحالية، مما يدل على أن النهر كان قويا . وعلى الرغم من تحديد تلك الدلتاوات، إلا أنه من الصعب التعرف على أثر مجاري الأنهار التي كونت تلك الدلتاوات، حيث محيت وأزيلت كلية بالتجوية والتعرية في الميوسين، باستثناء القليل من الأودية التي حفظت منها.

<u>تكون الدالات يتوقف فى واقع الأمر على عدة عوامل منها:</u>

(ا) عمق المنطقة الساحلية، فكلما كانت ضحلة، أدى هذا إلى تراكم الرواسب بصورة واضحة.

(ب) كمية المياه التي توجد في النهر.

(ج) كمية المواد فتات الصخر (الدقيق الحبيبات في معظم الأحوال) التي تأتي بها مياه النهر.

(د) قوة الأمواج والتيارات البحرية والساحلية.

(ه) ترعض الساحل لحركات المد والجزر أو خلوه.

<u>وتتخذ الدالتا أشكالاً عديدة، ولهذا يمكن أن تقسم أربعة أقسام رئيسية هى:</u>

(أ) <u>الدالات الحقيقية المثلثية</u> الشكل تقريباً والتي من طرزها دلتا نهر النلي. وقد كان الإغريق أول من أطلقوا كلمة "دلتا" على الرواسب التي تتراكم عند مصب نهر النيل والتي تعتبر أوضح مثال الدالات الحقيقية.

(ب) <u>الدالات القوسية أو ذات الشكل المروحي</u> ، وهي أكثر أشكال الدالات شيوعاً، وتعد دلتا نهر الراين من أوضح أمثلتها.

(د) <u>الدالات المصبية الخليجية</u> وتظهر في المناطق التي توجد فيها المجاري الدنيا من الأنهار التي تكونها في صورة غارقة، كما هي الحال في معظم دالات أنهار الساحل الشرقي للولايات المتحدة وبصفة خاصة دلتا نهر ساسكوينا .

أمثلة من الدلتاوات الحديثة :

تختلف دلتا النيل بمصر عن دلتا المسيسيبي في عدة جوانب. فبدلاً من أن يكون النهر محصورا في قناة واحدة، فإن نهر النيل يبدأ في التفرع عند القاهرة (قبل ١٦٠كم من البحر) ثم يكون شكل المروحة على طول امتداد الدلتا . وقد كان للنيل تسعة أفرع ثم أصبحت سبعة وأخيرا اقتصرت على فرعي دمياط ورشيد. وقد أعادت أمواج البحر المتوسط القوية توزيع الرواسب عند واجهة الدلتا. وتكون هذه الرواسب التي أعيد ترسيبها مجموعة من الحواجز المقوسة التي تحجز أجزاء من البحر لتكون بحيرات شاطئية lagoons. وتقوم البحيرات الشاطئية بدور مهم في تكوين بيئة ترسيب تمتلئ برواسب دقيقة الحبيبات.

ويرجع الاختلاف بين دلتا النيل ودلتا المسيسيبي إلي التوازن بين تدفق الرواسب، والذي يقوم بتكوين دلتا قدم الطائر، وبين قوة تأثير الأمواج التي تعيد ترسيب الرواسب لتكوين حواجز. وتقدم دلتا النيجر أوضح مثال على التوازن بين قوة الترسيب وفعل الأمواج وتيارات المد والجزر، ولذلك فإن دلتا النيجر تكون متماثلة بشكل لافت للنظر وصفات الأرض من تحتها، وكذلك تطور القارات.

أ – أحواض الصرف وخطوط تقسيم المياه :

يحاط كل مجرى مائي بحوض صرف drainage basin. وحوض الصرف هو المساحة الكلية التي تتجمع مياهها وأمطارها لتغذي المجرى المائي. ولكل مجرى مائي حدود عند أطرافه، قد تكون بعيدة أو قريبة من مجراه، تعرف بمقسم المياه divide water، وهى عادة جبال أو تلال مرتفعة تفصل بين حوض هذا المجرى المائي بروافده وحوض مجرى مائي آخر يجاوره. ويتراوح حجم هذه المقسمات بين تل منخفض يفصل بين جدولين صغيرين ومقسمات الماء القارية التي تفصل بين أحواض الصرف القارية الضخمة. ويتراوح حجم أحواض الصرف بين أقل من كيلومتر مربع واحد ومساحات شاسعة. وتصل مساحة حوض نهر النيل الضخم إلي حوالي مليونين وتسعمائة ألف كيلو متر مربع. وتقسم القارات عموما إلي أحواض صرف أساسية تفصل بينها مقسمات ماء أساسية. فقارة أفريقيا مثلا مقسمة إلي العديد من أحواض الصرف.

وتحتفظ معظم مقسمات المياه بأماكنها لفترات زمنية طويلة، حيث يتم تعريتها لتكون حيودا منخفضة، بينما تتغير أماكن المقسمات في مناطق أخرى. فإذا كان أحد المجاري المائية على جانب مقسم مياه قادراً على تعرية ونقل الرواسب بسرعة أكبر بكثير من مجرى مائي على الجانب الآخر، فإن المقسم يتم تعريته بطريقة غير متساوية. وفي بعض الأماكن، ينفذ المجرى المائي الأكثر نشاطا خلال المقسم ليقوم بأسر كل أو جزء الرافد المجاور الأقل نشاطاً. وتعرف هذه الحالة بالقرصنة النهرية stream piracy. ويتم خلال هذا الأسر أو القرصنة النهرية تحويل مياه نهر ما إلي مجرى نهر آخر له سرعة تعرية أكبر كما ذكرنا، ويجري في مستوى أكثر انخفاضاً من النهر المأسور. وتحدث القرصنة النهرية بسبب وجود وديان ضيقة بمناطق لا تنساب خلالها أي مجاري مائية.

ب -أنماط التصريف النهرى:

يقصد بنمط التصريف النهري الصورة والنظام العام الذي يبدو عليه كل نهر بروافده الرئيسية والثانوية، إذ إننا نلاحظ أن خطوط الصريف المائي إنما تظهر مرتبطة ببعضها البعض في أشكال خاصة بحيث تعكس لنا بوضوح بعض العوامل التي تحكمت فيها وجعلتها تتخذ هذه الأشكال أو الأنماط. ومن هذه العوامل:

(أ) صورة الإنحدار الأولى .
(ب) تباين الصخر في صلابته.
(ج) ظروف البنية الجيولوجية .
(د) مدى تأثر منطقة التصريف المائي بحركات باطنية.
(ه) التطور الجيومورفولوجي لحوض النهر.

وما دامت أنماط التصريف النهري تتوقف على كل هذه العوامل العديدة، ففي هذا، إذن، دليل قاطع على ما لدراسة هذا الموضوع من أهمية لدارسي الجيومورفوجيا، إذ تساعدهم على تفسير بعض الملامح الجيومورفولوجية للأنظمة النهرية وعلى تفهم عوامل البنية، والتكوين الصخري التي ساهمت في تطور الأشكال الأرضية.

ويمكننا على هذا الأساس أن نميز عدة أنماط للتصريف النرهي يمكن إيجازها فيما يلي:

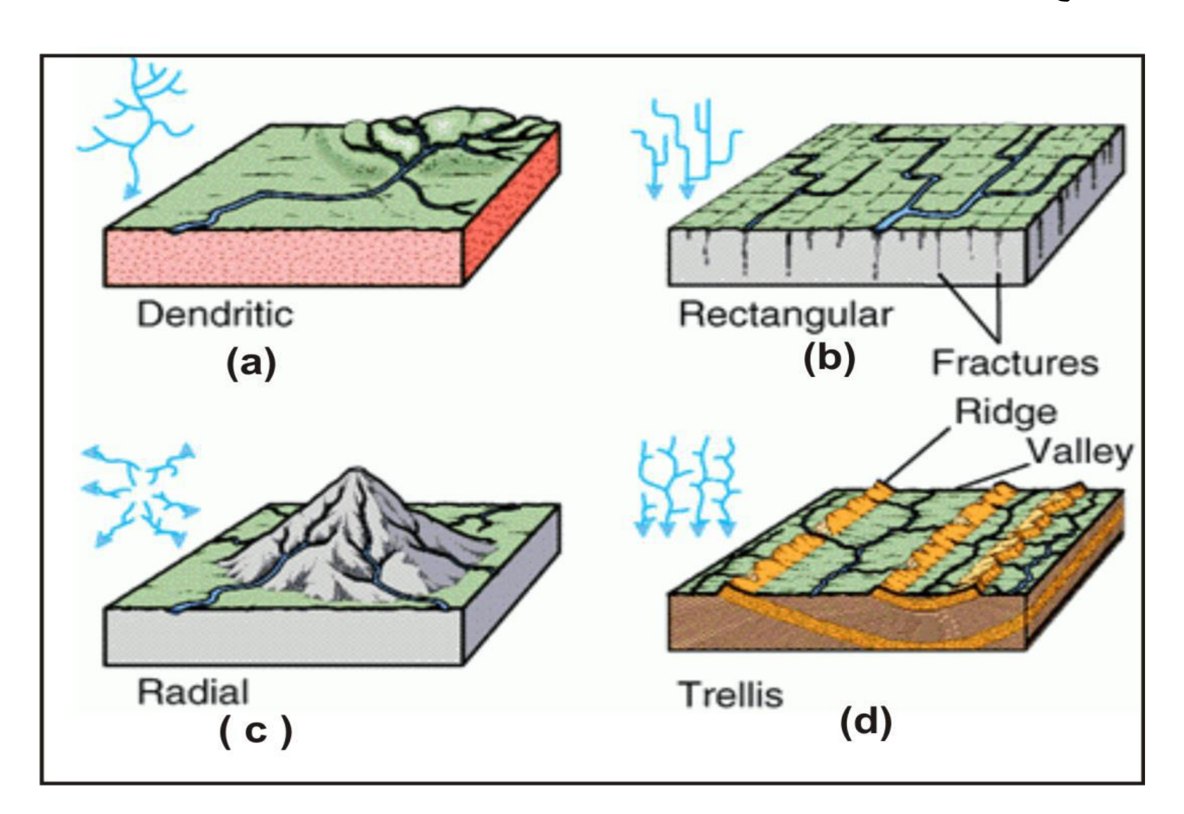
١-التصريف النهري الشجري : إذا كانت التكوينات الجيولوجية التي يخترقها النهر متجانسة في درجة مقاومتها لعوامل النحت، فالعامل الرئيسي الذي يتحكم في شكل النظام النهري في هذه الحالة، هو عامل الإنحدار الإقليمي العام لسطح الأرض مع حدوث بعض التعديلات الطفيفة في هذا العامل إزاء بعض التضرس وعدم الإنتظام في سطح الأرض. وتلتقي الروافد بالنهر الرئيسي في هذه الحالة، بزوايا حادة. وكلما كون النهر لنفسه رافداً واضح المعالم، كلما إتصلت بالتالي بهذا الرافد روافد ثانوية إلى أن يتكون نظام نهري أشبه بشجرة متعددة الفروع. ويتكون نمط التصريف النهري الشجري في المناطق التي تتألف من صخور رسوبية أفقية، أو فوق تكوينات نارية تغطي مساحة واسعة. في وجود النظام الشجري فوق التكوينات النارية دليل قاطع على حدوث إنطباع له بكل ما به من تفاصيل فوق هذه التكوينات بعد إزالة الصخور الرسوبية اليت كانت ترتكز عليها.

٢- **التصريف النهري المشبك** : وتسير الأودية النهرية في هذا النمط منأنماط التصريف المائي، متوازية مع خطوط ظهور الطبقات ، أو مع بعض المظاهر التضاريسية الحديثة التكوين والتي قد تم ترسيبها بفعل الرياح أو الجليد. وتنحني الأنهار الرئيسية في هذا النظام إنحناءات قائمة الزوايا عندما تمر بين الحافات الفقرية المتوازية، كما تتصل هذه الأنهار بروافد بزوايا قائمة بحيث تسير إتجاه النهر الرئيسي موازياً لإتجاه ميل الطبقات بينما تسير الروافد موازية لخط إمتدادها. كما تظهر الروافد الثانوية هي لأخرى موازية لإتجاه النهر الرئيسي. ويتكون نمط التصريف النهري

٣- المشبك في الجهات التي تـألف من صخور طباقية تميل ميلاً قليلاً صوب البحر، كما تتميز في نفس الوقت بتعاقب تكوينات لينة مع أخرى صلبة .

٤- **التصريف النهري الشائك :** ويتميز بقلة شيوعه وإنتشاره، وبتركزه في ألأجزاء العليا من الأنظمة النهرية. وتتصل الروافد بالنهر الرئيسي بإنحناءات واضحة تتجه نحو المجرى الأعلى. ويتكون هذا النمط في المناطق التي تعرضت فيها المجاري المائية لعمليات الأسر النهري.

٥-**التصريف النهري المستطيل :** وينحني فيه النهر الرئيسي إنحناءات بزوايا قائمة، كما تلتقي الروافد بالنهر الرئيسي أيضاً بزوايا قائمة، ويدل وجود هاذ النمط من أنماط التصريف المائي، على مدى تأثر النهر وروافده بالمفاصل والإنكسارات اليت توجد في التكوينات اليت يخترقها، وهذا مايظهر بجلاء ووضح في حالة نظم التصريف النهري الت يتوجد على طول ساحل النرويج.



Drainage pattern: (a) dendritic, (b) rectangular, (c) Radial, (d) trellis

٦-**التصريف النهري المقلقل :** ويتكون في الجهات التي لا تخضع فيها إتجهات الأودية النهرية الرئيسية وروافدها، لعوامل جيولوجية كنوع الصخور، أو أبنيتها. ولابد بطبيعة الحال من أن تكون الأنظمة التي تنشأ في هذه الظروف، حديثة التكوين لم تمض عليها فترة كافية تعمل على إكنمالها. وتتميز المجاري المائية في هذا النوع بعدم إنتظام إتجاهاتها وكثرة

تعرجها وإنثنائها، بإختراقها لبعض البحيرات أو المستنقعات، مكا أن روافد الأنهار الرئيسية روافد قصيرة في أغلب الأحوال وليس لها شأن يذكر. وتنتشر المسنقعات والبطائح المائية في نفس الوقت فوق الأراضي المرتفعة نسبياً والتي تفصل أودية الأنهار بعضها عن البعض الآخر.

"قوام" التصريف النهري : يقصد منه معرفة كثافة التصريف النهري ، وتععد خطوطه . وقد فسر كثافة التصريف النهري بأنها عبارة عن الطول الإجمالي للمجاري المائية في حوض تصريف نهري معين مقسوم على مساحة هذا الحوض. كما عرف تعدد خطوط التصريف المائي،

بأنه يقصد منه عدد المجاري المائية التي توجد ف يحوض نهري معين مقسوم على مساحة هذا الحوض. وعلى هذا الأساس يمكن أ، نفرق بين الأحواض النهرية على أساس "قوام" تصريفها المائي، فهناك أحواض ذات قوام ناعم ، وأخرى ذات قوام متوسط أو خشن . وكل هذه المصطلحات مجازية ونسبية .

يوضح العوامل التى تتحكم فى"قوام" التصريف النهرى على النحو التالى:

(أ) عامل المناخ: ويؤثر على كثافة الأنهار وتعددها إما بطريق مباشر أو غير مباشر. وتتمثل المؤثرات المناخية المباشرة في عامل التساقط، إذ تؤدي غزراة الأمطار إلى تعدد خطوط التصريف المائي وتكاثفها. أما المؤثرات غير المباشرة فتتمثل في عامل النباتات الطبيعية، فكلما إزدادت كثافة الغطاء النباتي قلت كثافة الأنهار ونقصت أعدادها، وحينما تندر النباتات الطبيعية - كما هي الحال في الأقاليم الجافة وشبه الجافة - تزداد كثافة التصريف المائي وتتعدد المجاري المائية. ويرجع هذا بالذات إلى أن وجود غطاء نباتي كثيف يقلل من كميات المياه التي تجري جرياناً سطحياً على سطح الأرض.

(ب) العامل الجيولوجي: ويؤثر على كثافة الأنهار وتعددها تأثيراً مباشراً عن طريق نوع الصخور ودرجة إنفاذها للمياه، فالمعروف أن خطوط التصريف النهري تتقارب وتتعدد في المناطق التي شقت فيها خلال تكوينات صخرية غير منفذة للمياه، إذ كثيراً ما تختفي المجاري المائية إختفاء تاماً في الجهات التي تشق طريقها فيها خلال تكوينات منفذة للمياه كالرمال أو الحصى.

(ج) عامل التضاريس: ويؤثرهو الآخر على "قوتم" التصريف النهري، إذ تتعدد المجاري المائية فوق الأراضي المتضرسة غير المستوية السطح، بينما تقل في المناطق المستوية أو قليلة التموج.

وخلاصة هذا الكلام، هي أن كثافة الأنهار، وأعدادها لابد أن تختلف في الأحواص النهرية التي تنتشر على سطح الأرض، وذلك لإختلاف تأثر النهار التي تجري في هذه الأحواض بعوامل عديدة بعضها مناخي وبعضها الآخر جيولوجي أو تضاريسي.

<u>مناطق تقسيم المياه</u>: تعرف الأراضي المرتفعة التي تفصل بين نظامين نهريين متجاوريين - أو بمعنى آخر بين حوضين متجاوريين - بمناطق تقسيم المياه ، وهي ثابتة إذا كان معدل النحت على كلا جانبيها معدلاً واحداً متساوياً، ولكن هذا لا يحدث في الطبيعة بتاتاً، بل تتميز مناطق تقسيم المياه بأنها مناطق متنقلة كثيراً ما تهجر مناطقها الأولى التي نشأت فيها. ويعزى هذا إلى عدم تساوي إنحدار هذه المناطق المرتفعة صوب كلا النظاميين النهريين، إذ يؤدي هذا بطبيعة الحال إلى تفوق عملية النحت النهري على طول الجانب الشديد الإنحدار، وبذلك تتحرك منطقة تقسيم المياه دائماً صوب الجانب المتدرج في إنحداره.

وتحدث ظاهرة تراجع مناطق تقسيم المياه - في معظم الأحوال عن طريق عملية النحت الصاعد اليت تقوم بها الأنهار التابعة أو الرئيسية أو روافدها وتهدف من روائها إلى أن تزيد منأطوال مجاريها.

وإذا كان أحد الأنهار الرئيسية المتقابلة أقوى على تعميق مجراه من النهر أو الرافد الذي يواجهه في الجانب الآخر من خط تقسيم المياه، حدثت ظاهرة جيورفولوجية هامة هي ظاهرة الأسر

النهري (كثيراً ما تسمى القرصنة النهرية وخصوصاً في الولايات المتحدة) إذ يتمكن النهر القوي من أن يخترق منطقة تقسيم المياه، فتنحدر مياه النهر أو الرافد الذي يوجد على الجانب الآخر من هذه المنطقة صوب النهر القوي الذي إستطاع أن يزيد من عمق مجراه.

<u>وتحدث ظاهرة الأسر النهري بواسطة عملية النحت الصاعد لسببين رئيسيين:</u>

<u>أولاً:</u> إذا شق النهر اقوي واديه خلال تكوينات صخرية يسهل نحتها، وبذلك يتوقف على نهر آخر يخترق تكوينات صلبة، ويؤدي هذا بالتالي إلى زيادة عمق انهر اقوي وتمكنه في النهاية من أسر النهر الضعيف الذي يجاهد لشق واديه خلال تكوينات أكثر صلابة.

<u>ثانياً:</u> إذ إشتد إنحدار نهر من الأنهار على طول أحد جانبي منطقة تقسيم للمياه يتميز جانبها الآخر بتدرجه في إنحداره.

وينجم عن عملية الأسر النهري في النهاية، إنجراف مياه النهر الضعيف وتحولها إلى النهر القوي الأكثر عمقاً، بزاوية قائمة تقريباً هي التي تحدث عنها عملية الأسر، وتعرف هذه الزاوية بكوع الأسر النهري والذي يلاحظ كذلك، أن الجزء الأعلى من مجرى النهر الضعيف هو وحده الذي تنحدر مياهه إلى النهر القوي العميق، أما الجزء الباقي منه فيتحول إلى نهر قصير يتعرض للتضاؤل والإنكماش التدريجي حتى يصبح واديه وكأنه غريب تماماً عن أجزاء امجرى التي أسرت. ويبدو النهر في هذا الجزء غير متناسب في طوله وحجمه مع طول واديه الأصلي وإتساعه، ويعرف حينئذ بالنهر غير المتلائم أو الضامر . وتتكون في نفس اوقت ثغرة واضحة بين المجرى المنكمش والمجرى الأعلى الذي أسر، هي التي يسميها الجيومورفولوجيون بثغرة الريح .

وقد تحدث في بعض المناطق التي تتكونمن صخور جيرية - أو ما هو قريب الشبه منها من الأنواع الصخرية التي تتعرض لعملية الإذابة - ظاهرة أسر نهي فريدة في نوعها هي التي يمكن أن تسمى بالأسر النهري الجوفي . وتحدث هذه الظاهرة إذا ما إستطاع أحد الأنهارأن يعمق مجراه خلال تكوينات جيرية تقع قريبة من أودية نهرية أقل منسوباً، فسرعان ما تتحول بعض أجزاء من نظام التصريف النهري المرتفع عن طريق بعض المسارب والشقوق الباطنية، إلى النهر العميق الأقل منسوباً.

وجدير بالذكر أن مناطق تقسيم المياه لا تظهر واضحة تمام الوضوح في المرحلة الأولى من مراحل تكوين النظام النهري، أما بعد أن تزيد المجاري المائية من أطوالها وأعماقها، فتكثر إعداد هذه المناطق وتصبح واضحة بارزة بحيث تبدو على شكل حواف مرتفعة، وفي مرحلة النضج تظل مناطق تقسيم امياه واضحة بارزة ولكنه ليس من الض١روري أن تظل في أماكنها لفترة طويلة، إذ كثيراً ما يبدأ تحركها وإنتقالها، نتيجة نشاط الأنهار التي تنحدر على كلا جانبيها في هذه المرحلة . . ويحدذ هذا التحرك ببطء شديد في أول الأمر ولكنه يزداد في سرعته نسبياً بعد ذلك.

ج – أنماط الصرف والتاريخ الجيولوجي:

تقدم العلاقة بين المجاري المائية وجيولوجية المنطقة معلومات عن التاريخ التركيبي لتلك المنطقة . فد يتبع مسار المجرى المائي انحدار سطح الأرض ويعرف بالمجرى الانحداري consequent stream، بينما يقع المجرى اللاحق subsequent stream على امتداد أحزمة الصخور الضعيفة أو يمتد في مجرى تكون نتيجة تركيب جيولوجي. ويسير المجرى المناضل أو السالف antecedent stream على المرتفعات حيث يقطع صخور الأساس المكونة لها والمقاومة للتعرية، بدلاً من الجريان على جوانب تلك المرتفعات. ويسمى هذا المجرى ملتزما لوجوده قبل تكون المرتفع الحالي، وأنه حافظ على مجراه الأصلي والتزم به على الرغم من التغيرات في الصخور أو في طوبوغرافية المنطقة. أما المجرى المتراكب superposed stream فإنه مجرى مائي نحت مجراه عبر مجموعة من الصخور حتى وصل إلي مجموعة أخرى تحتها تختلف في خواصها الصخرية أو التركيبية. وقد تحدد نمط الصرف الأصلي للمجرى المائي عند نحته للمجموعة العلوية وليس تبعاً للمجموعة التي ينساب الآن خلالها. فقد تكون صخور المجموعة العلوية متجانسة لتكون نظام الصرف الشجيري ثم يفرض هذا النظام على صخور المجموعة السفلية والتي قد يكون نظام الصرف بها متعامداً عند تكونه.

- نهر النيل بمصر :

النيل أطول أنهار الكرة الأرضية ويأتي نهر الأمازون في أمريكا الجنوبية في المرتبة الثانية. يقع نهر النيل في الجزء الشمال الشرقي من قارة أفريقيا، ويبدأ مساره من المنبع عند بحيرة فيكتوريا - الواقعة بوسط شرق القارة - ثم يتجه شمالا حتى المصب في البحر المتوسط، بإجمالي

طول ٦,٦٥٠ كم (٤,١٣٢ ميل). يغطي حوض النيل مساحة ٣,٤ مليون كم^2، ويمر مساره بعشر دول إفريقية يطلق عليها دول حوض النيل.

يلعب نهر النيل دوراً مهماً في مصر، حيث يمد هذا النهر مصر بحوالي ٩٨%من احتياجاتها بالماء. ويمثل نهر النيل ظاهرة جغرافية وجيولوجية مميزة. حيث يجري من منابعه الاستوائية في قلب أفريقيا، ثم يتجه شمالا إلي البحر المتوسط ملتزما بهذا الاتجاه. ولا يجري نهر النيل في إقليم طبيعي واحد مثل نهر الأمازون، بل يجري في عدة أقاليم متباينة، ويخترق حوالي ٣٥ من درجات العرض ليصل بين منابعه ومصبه. ويحمل نهر النيل حوالي ٨٦ بليون متر مكعب من المياه سنويا، مما يجعله أحد أصغر الأنهار في العالم، على الرغم من حوضه الكبير (٣٠٠٠٠٠٠كم٢) وطوله الذي يصل إلي ٦٨٢٥كم.



دلتا النيل هي دلتا تكونت في شمال مصر (الوجه البحري) حيث يتفرع النيل الى فرعين يصبان في البحر المتوسط. فرع دمياط في الشرق وينتهي بمدينة دمياط وفرع رشيد في الغرب وينته عند مدينة رشيد. وهي واحدة من أكبر الدلتا في العالم - تمتد من بورسعيد في الشرق حتى الإسكندرية في الغرب وسميت بالدلتا لانها تشبة المثلث. وهي تشغل مسافة مساحة ٢٤٠ كيلومتر على ساحل البحر المتوسط . وتتميز الدلتا بالأراضي الزراعية الخصبة الصالحة للزراعة في أي وقت . يبلغ طول الدلتا من الشمال للجنوب حوالي ١٦٠ كم. وتبدأ الدلتا من الجنوب بالقرب من مدينة القاهرة عند القناطر الخيرية.

الشكل والتكوين:

تكونت الدلتا بفعل طمى النيل الذى كان يأتى مع الفيضان من منابع النيل وينتهى به المطاف عند البحر المتوسط ليرسب الطمى مكوناً يابس ومع الفيضانات وكثرة الطمى تكونت الدلتا ؛ تتخذ دلتا النيل شكل المثلث عند النظر إليها من أعلى ؛ الحدود الشمالية للدلتا تآكلت بسبب تناقص كمية طمي النيل الذي منه تكونت الدلتا و بسبب البحر المتوسط ، و أيضاً و الأهم كان السبب الرئيس هو التقلبات في منسوب سطح البحر العالمي والذي لوحظ أنه ارتفع خلال القرنين الماضيين بحوالي ٣٠ سنتيمترا، و بالتالي نتج عن ذلك كله أن تكونت بحيرات ساحلية أهمها بحيرة المنزلة في الدقهلية وبحيرة البرلس في كفر الشيخ. وقد أصبحت الأرض الزراعية أقل خصوبة بعد إنشاء السد العالي وبدأ المزارعون في استخدام الأسمدة الكيماوية لسد النقص في تغذية التربة. تصل التربة السطحية في الدلتا إلى ٧٠ قدم عمقاً.وتتدرج خصوبة التربة من الجنوب إلى الشمال فنجد الشمال تقل فيه خصوبة التربة بسبب الملوحة الزائدة.

أ – نشأة وتطور نهر النيل:

نشأ نهر النيل قبل نحو ٦ ملايين سنة مضت. وبالطبع فإن شكل نهر النيل الحالي هو شكل حديث نسبيا، وصل إليه النيل بعد سلسلة طويلة من التغيرات استغرقت عمر نهر النيل نفسه. ويعتبر نهر النيل نهرا مركبا تكون نتيجة اتصال عدد من الأحواض الداخلية المنفصلة التي تكونت في العصر المطير الذي تلا تراجع ثلوج العصر الجليدي الأخير منذ ما يقرب من عشرة آلاف عام.



وقد حفر النيل مجراه بعد أن جف حوض البحر الأبيض المتوسط، ثم تحول هذا الحوض إلي صحراء جرداء منذ ٦ مليون سنة عندما أغلق مضيق جبل طارق، والذي يربط البحر المتوسط

بالمحيط الأطلنطي . وقد كانت مصر معزولة عن أفريقيا خلال تلك الفترة بهضبة النوبة المرتفعة، كما لم يكن لأنهارها أي اتصال بالجنوب .

وقد تراوح عمق البحر المتوسط الجاف بين ثلاثة وأربعة كيلومترات، مما دفع الأنهار القليلة التي كانت تصب فيه إلي أن تعمق مجراها إلي هذا العمق. وقد وصل عمق مجرى النيل إلي ٤كم في الشمال وشكل هذا النهر، والذي يسمى بنهر فجر النيل (الإيونيل Eonile)، خانقا عظيما. وقد تغطي هذا الخانق بماء البحر الأبيض المتوسط عندما عاد وامتلأ البحر بالماء منذ حوالي ٥,٤ مليون سنة. وقد أصبح الخانق خليجيا بحريا لأكثر من مليوني سنة استقبل بعدها نهرا هائلا أطلق عليه النيل القديم البالونيل (Paleonile)، حيث امتلأ الخانق بالرواسب. ويبدو أن كلا النهرين السابقين كان ينبعان محليا من هضاب مصر والنوبة، ولم يكن لهما أي اتصال بأفريقيا. وقد انتهت تلك الفترة من تاريخ النيل منذ حوالي ٢ مليون سنة مضت.

وقد مرت فترة طويلة قبل أن يتصل النهر المصري بأفريقيا الاستوائية منذ حوالي ٨٠٠٠٠٠ سنة، حيث وصل النهر من أفريقيا والذي يسمى نهر ما قبل النيل (البرينايل Prenile)، والذي كان ينبع من منطقة منابع النيل الحديثة التي تغيرت تضاريسها لتقارب شكلها الحديث، فتحول تصريف أنهارها إلي حوض النيل. وتمثل تلك الفترة أول اتصال بمصادر المياه في المرتفعات الأثيوبية، كما تميزت تلك الفترة بتحول مياه النيل إلي منخفض الفيوم لتكون بحيرة. وقد حملت مياه نهر ما قبل النيل كميات هائلة من الرمل والحصى رسبها في سهلة الفيضي والدلتا الذين كانا أكبر مساحة من سهل النيل الحديث ودلتاه، وتشكل واجهاتها محاجر الرمال التي تزود مصر كلها برمال البناء.

وبعد أن توقف نهر ما قبل النيل منذ حوالي ٤٠٠٠٠٠ سنة، وصل إلي مصر نهر أقل قدرة أطلق عليه نهر النيل الحديث (النيونيل Neonile)، وكان اتصال هذا النهر بأفريقيا ضعيفا وتكرر انقطاعه. وفي كل مرة عاد فيها هذا الاتصال كان النهر أقل تصريفا وأقصر عمرا عن نهر ما قبل النيل. ولنهر النيونيل الذي يمتد حتى وقتنا الحالي أهمية خاصة، لأنه شهد كل تاريخ الإنسان على أرض مصر والذي ظهر مع بدء هذا النهر.

ومنذ حوالي ١٠٠٠٠ سنة من الآن زادت الأمطار على الهضبة الأثيوبية بل ومنطقة الساحل الأفريقي الشرقي كلها، كما امتدت جنهة المطر شمالا حتى غطت شمال السودان وجنوب مصر، وظلت تلك المناطق مطيرة لمدة ٤٥٠٠ سنة. وبوصول المياه بغزارة من المرتفعات الأثيوبية وهضبة البحيرات ولد النيل الحديث الذي أصبح مستديما بعد أن كان فصليا. وقد زادت أمطار شمال السودان وجنوب مصر من مياه النهر في فترته الأولى، حيث ارتفع منسوب النهر وبدأ في ترسيب الرواسب التي كان يحملها في واديه ودلتاه في الفترة بين ثمانية آلاف سنة مضت، فتكونت بذلك أرض مصر الخصبة، والتي وصفها هيرودوت بأن مصر هبة النيل.

ب – تطور دلتا النيل:

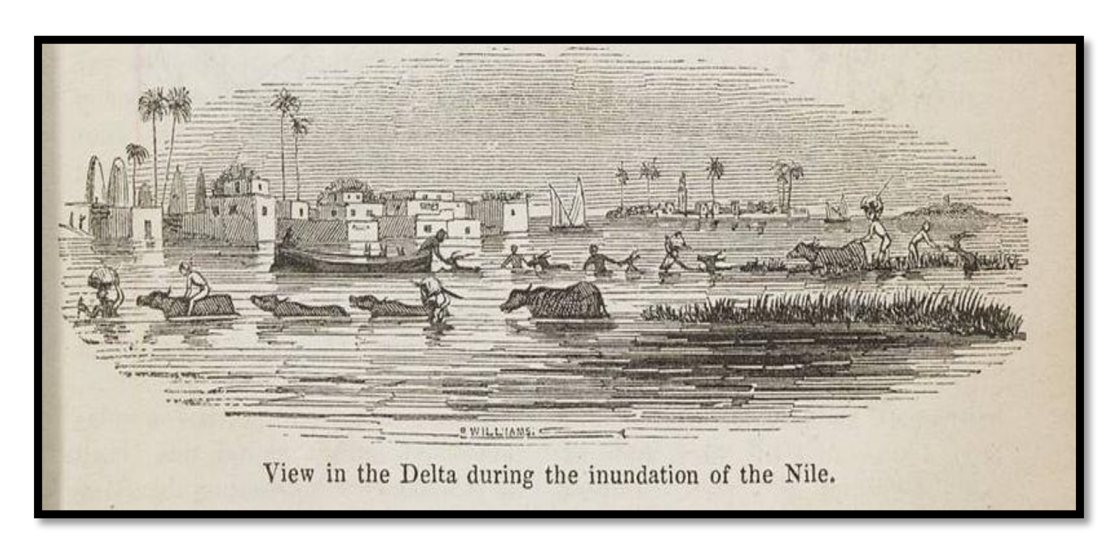
إن الدلتا التي نعرفها اليوم ليست إلا واحدة من دلتاوات عديدة تعاقبت على هذا الموقع . فقد كان لكل الأنهار التي سبقت النيل الحديث دلتاوات اختلفت كل واحدة منها عن الأخرى، حيث أن الأنهار التي احتلت مجرى النيل منذ نشأته قد اختلفت عن بعضها البعض من حيث مصادر مياهها أو كمية المياه التي حملتها أو نوع الرواسب التي حملتها تلك المياه. ولذلك فقد تعاقبت على موقع الدلتا الحديثة دلتاوات مختلفة، ، أمكن التعرف عليها ودراستها من دراسة جسات الآبار العميقة التي حفرت بدلتا النيل للبحث عن البترول.

فقد كانت دلتا فجر النيل Eonile Delta أول الدلتاوات التي ترسبت علىشكل مروحة في الجزء الشمالي من الدلتا، ثم جاء نهر النيل القديم (الباليونيل) بعد أكثر من مليون سنة حيث أخذت الدلتا موضعها الحالي، وبدأ النهر يتفرع عند حد الدلتا الجنوبي تقريبا. وقد تشكلت دلتا تشبه إلي حد كبير دلتا نهر المسيسيبي الحديثة، والتي تعرف بدلتا قدم الطائر bird – foot delta.

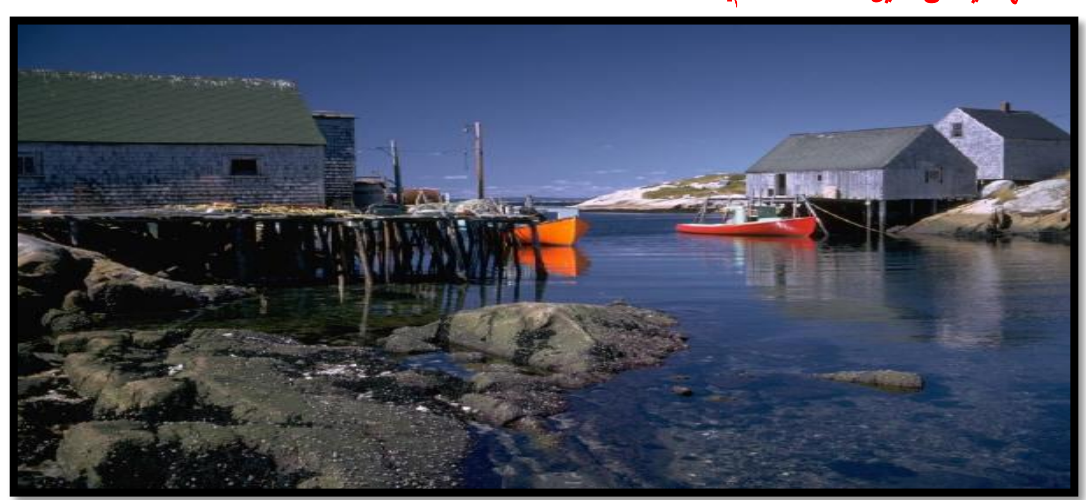
وقد تكونت دلتا ما قبل النيل (البرينايل) عندما حمل النهر رواسب خشنة من الرمال، حيث كانت مياه النهر أكثف من ماء البحر التي كانت تصب فيه، وترسبت تلك الرواسب على طول جبهة الدلتا على شكل قوس منتظم دون بروز في البحر. ثم جاءت مرحلة النيل الحديث (النيونيل) والذي تعرضت الدلتا خلاله لفترات طويلة من التحات، فأزيلت كميات كبيرة من الدلتا القديمة وبقى جزء آخر شكل نواة للدلتا التي غطاها النهر الحديث وأخذت تتزايد تدريجيا خلال السبعة إلي ثمانية آلاف سنة الماضية.



صورة فضائية تظهر دلتا النيل المصرية



مشهد فيضان النيل سنة ١٨٤٧م.



تلوث النيل والمجارى المائية بالمخلفات السائلة من المحلات التجارية والصناعية.



ثلوث النيل– جرت العادة على الاغتسال وغسل الاوانى والخضروات وتنظيف الدواجن والماشية.

الفصل الثاني عشر: المياه الجوفية



ما هي المياه الجوفية؟

هي عبارة عن مياه موجودة في مسام الصخور الرسوبية تكونت عبر أزمنة مختلفة قد تكون حديثة أو قديمة جدا لملايين السنين. مصدر هذه المياه غالبا الأمطار أو الأنهار الدائمة أو الموسمية أو الجليد الذائب وتتسرب المياه من سطح الأرض إلى داخلها فيما يعرف بالتغذية recharge. وهي المياه التي تتواجد تحت سطح الأرض وقد تظهر على سطح الأرض في الأماكن المنخفضة .



تصل نسبة المياه الجوفية إلى حوالي ٠.٦% من كمية المياه الموجودة على سطح الأرض

المياه الجوفية

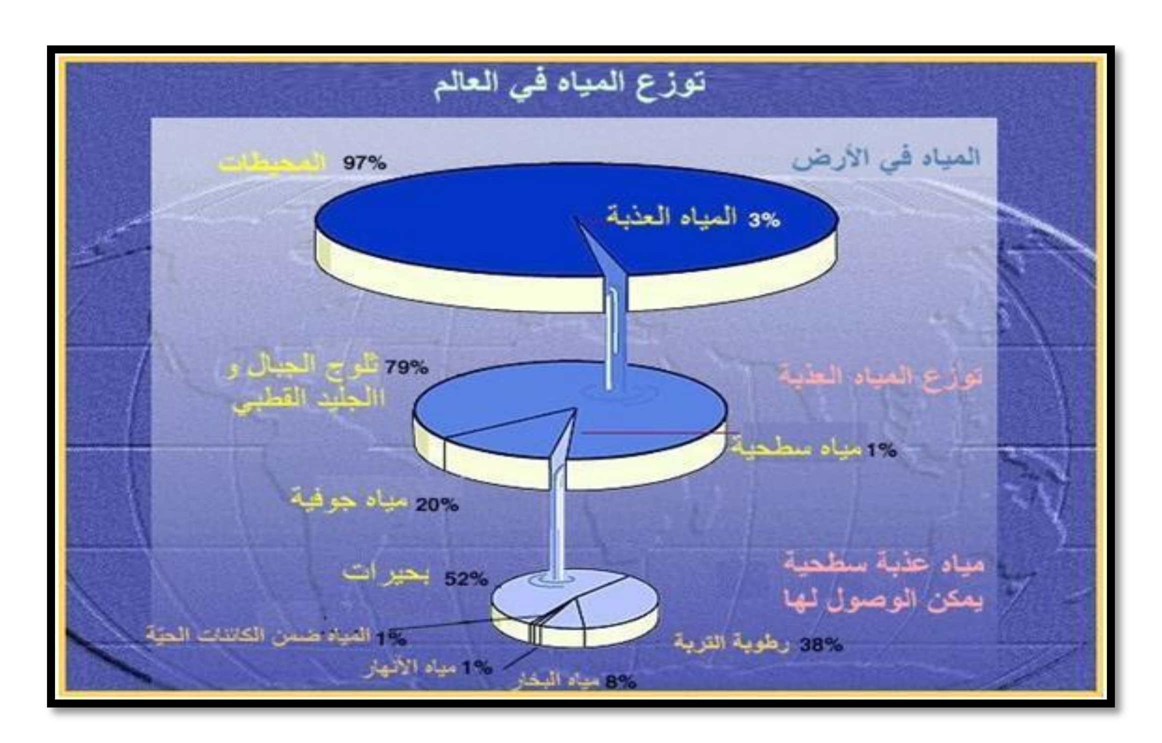
يحصل الإنسان على احتياجاته المائية من مصدرين أساسيين وهما:

مصادر المياه السطحية: وتشمل مياه الأنهار والبحيرات ومجاري الوديان .
ومصادر المياه الأرضية: وتشمل الآبار والينابيع والكهوف والدحول.

وإذا جاز التعبير عن المياه السطحية بأنها في حالة سريان وعبور فإن المصادر الجوفية تمثل المياه في حالة التخزين وقد تجمعت خلال قرون عديدة مع إضافات طفيفة من الأمطار الساقطة سنوياً وبذلك يتضح لنا أهمية المياه الجوفية كمصدر رئيسي يمكن أن يعتمد عليه إذا ما أحسن استغلاله لسد حاجة الإنسان والحيوان والنبات.

ولكن لعدم فهم كيفية تواجد المياه وحركتها في باطن الأرض ظل استخدامها محدوداً بل ويكاد يكون محصوراً في بعض المناطق الصحراوية القاحلة والتي لا تتوفر فيها مصادر مياه سطحية.

و في مطلع القرن الحالي ومع التطور الكبير في أدوات الحفر فقد تضافرت عدة جهود لدراسة المياه الجوفية ومنذ ذلك الحين فقد بدأ الاعتماد على المياه الجوفية بشكل ملحوظ خاصة مع تزايد السكان في جميع أنحاء العالم وعدم كفاية المصادر السطحية لتغطية الاحتياجات المائية.



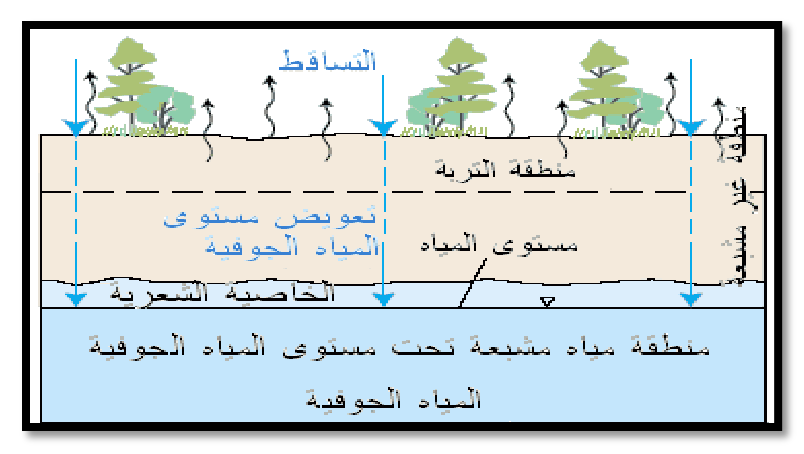
(مصدر التغذية) فكلما كانت التربة مفككة وذات فراغات كبيرة ومسامية عالية ساعدت على التسرب الأفضل للمياه وبالتالي الحصول على مخزون مياه جوفية جيد بمرور الزمن. وتتم الاستفادة من المياه الجوفية بعدة طرق منها حفر الآبار الجوفية أو عبر الينابيع أو تغذية الأنهار.

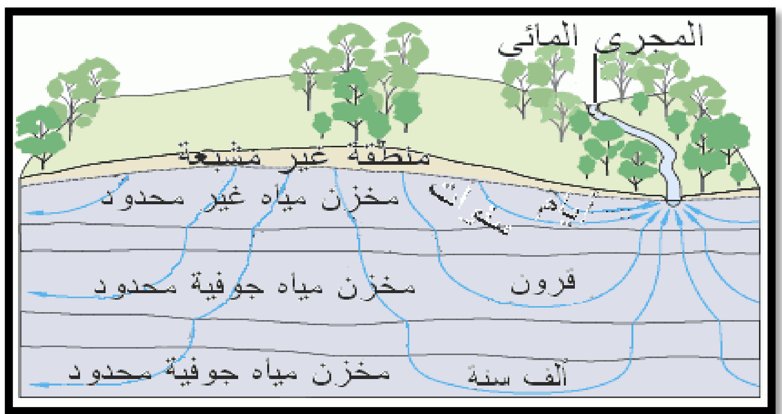
وتقع المياه الجوفية في منطقتين مختلفتين وهما المنطقة المشبعة بالماء والمنطقة غير المشبعة بالماء:

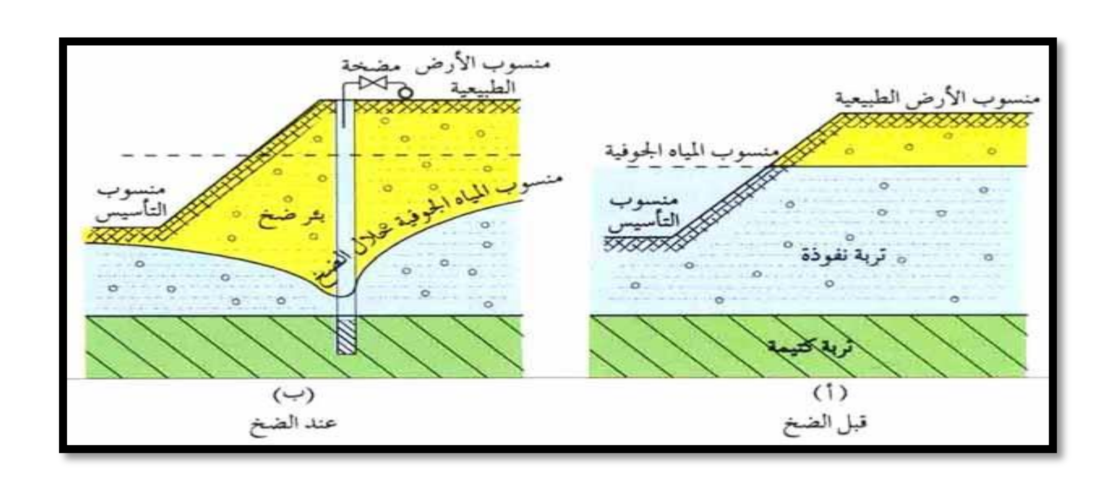
المنطقة غير المشبعة بالماء: تقع مباشرة تحت سطح الأرض في معظم المناطق وتحتوي على المياه والهواء ويكون الضغط بها اقل من الضغط الجوي مما يمنع المياه بتلك المنطقة من

الخروج منها إلى أي بئر محفور بها، وهي طبقة مختلفة السمك ويقع تحتها مباشرة المنطقة المشبعة.

المنطقة المشبعة هي طبقة تحتوي على مواد حاملة للمياه وتكون كل الفراغات المتصلة ببعضها مملوءة بالماء ن ويكون الضغط بها أكبر من الضغط الجوي مما يسمح للمياه بالخروج منها إلى البئر أو العيون، تغذية المنطقة المشبعة يتم عبر ترشح المياه من سطح الأرض إلي هذه الطبقة عبر مرورها بالمنطقة غير المشبعة.







طرق تكوين المياه فى الطبيعة :

١- وهج الشمس (حرارة الشمس) :

إن أشعة الشمس الساقطة على أسطح البحار والمحيطات والبحيرات والأنهار تقوم بعملية تبخير المياه فيتصاعد إلى أعلى الغلاف الجوى فيتكسف على هيئة سحب وعندما يقابل منطقة باردة فتسقط الأمطار. يقول عز وجل: (وَجَعَلْنَا سِرَاجاً وَهَّاجاً * وَأَنزَلْنَا مِنَ الْمُعْصِرَاتِ مَاء ثَجَّاجاً) (سورة النبأ) .

٢- الرياح :

وللرياح دور فعال في عملية تلقيح السحب حيث إنها تكون محملة بالغبار وذرات الملح الناعمة والتي تتكثف حولها قطرات الماء وبالتالي تتكون شحنات كهربية موجبة وأخرى سالبة مما ينتج عنه برق ورعد ثم سقوط أمطار. يقول عز وجل: (اللَّهُ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَاحَ فَتُثِيرُ سَحَاباً فَيَبْسُطُهُ فِي السَّمَاء كَيْفَ يَشَاءُ وَيَجْعَلُهُ كِسَفاً فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ فَإِذَا أَصَابَ بِهِ مَن يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ) الروم .

وتأمل معي المراحل التي حددتها الآية الكريمة :

- إرسالُ الرياح: لترفع ذرات الماء من البحار إلى الجوّ.
- إثارة السحاب: من خلال تلقيحه وتجميعه.
- بسطُ السحاب: من خلال الحقول الكهربائية.
- . جعلُه كِسَفاً: أي قطعاً ضخمة وثقيلة.
- . نزول الودْق: وهو المطر.

٣- الجبال :

عند اصطدام السحب بقمم الجبال الشاهقة الباردة تتولد السيول منهمرة إلى أسفل الجبال مكونة الأنهار ومنها ما يتخلل الصخور ذات نفاذية ومسامية مكونة المياه الجوفية. يقول تعالى: (وَجَعَلْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ شَامِخَاتٍ وَأَسْقَيْنَاكُم مَّاء فُرَاتاً) [المرسلات].

٤- البراكين :

البراكين الصاعدة على ظهر الأرض أو تحت قيعان البحار والمحيطات فإنها تكون محملة بنسبة كبيرة تصل إلى حوالي ٧٠% مياه والباقي عبارة عن مكونات صخرية. يقول الله تعالى(أخرج منها ماءها ومرعاها) [النازعات: ٣١.

ما هي المصادر التي تعتمد عليها المياه الجوفية؟

- مياه الأمطار وهي المصدر الرئيسي لتلك المياه .
- ماء الصهير وهو الماء الذي يصعد إلى أعلى بعد مراحل تبلور الصهير المختلفة .

- الماء المقرون وهو الماء الذي يصاحب عملية تكوين الرسوبيات في المراحل المبكرة ويحبس بين أجزائها ومسامها .
- مياه المسطحات المائية والمصادر المائية المختلفة مثل البحيرات والأنهار والخزانات المائية.
- من خلال عمليات الرشح وهي من المصادر الصناعية للمياه الجوفية من خلال ما يتبقى من عمليات الري للمزروعات.

تواجدها :

قطاع المياه الجوفية :

وهي من اعلى الى اسفل :

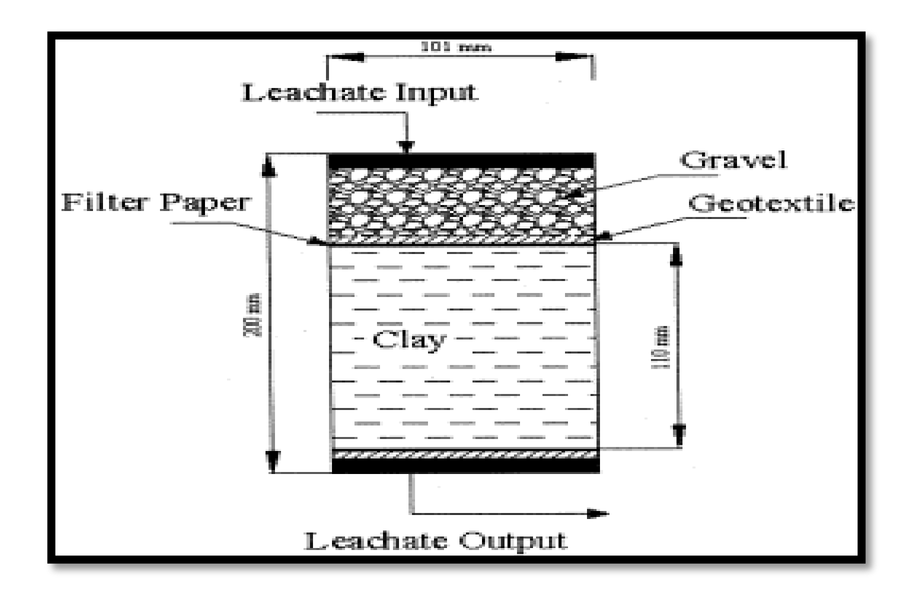
توجد المياه الجوفية في الجزء العلوي من القشرة الأرضية والذي يعرف بمنطقة الشق الصخري. ولقد قسمت منطقة الشق الصخري إلى:

أ–نطاق عدم التشبع او التهوية:

ويقصد بها المنطقة التي يتسرب منها ماء المطر الى نطاق الماء الجوفي وهو نطاق يتخلله الهواء ولايحتوي الا على القليل من الرطوبة . ويشمل الجزء العلوي من منطقة الشق الصخري حيث يمتلىء معظم الفراغات الصخرية فيه بالهواء ويحتوي جزئيا على بعض الماء .

– حركة الماء فى نطاق التهوية :

يتسرب ماء المطر المتساقط في التربة التي تحتوي عادة على صلصال ناتج من عملية التجوية الكيميائية إلي صخر الأساس. ونتيجة وجود حبيبات الصلصال الدقيقة، فإن التربة تكون عموما أقل نفاذية من الحطام الصخري (الأديم) regolith الموجودة أسفلها والذي يحتوي على حبيبات أكبر حجما. وتعمل النفاذية المنخفضة وحبيبات الصلصال الدقيقة على أن تحتفظ التربة بجزء من الماء بسبب تأثير قوى الجاذبية الجزئية. وتسمى هذه الطبقة بطبقة التربة الرطبة layer of soil moisture . ويتبخر جزء من هذه الرطوبة مباشرة إلي الهواء، كما تمتص جذور النباتات الكثيرة منها، ثم تعود بعد ذلك إلي الغلاف الجوي أثناء عملية النتح. ويتسرب الماء الذي لم يتأثر بقوى الجاذبية الجزئية إلي أسفل في التربة حتى يصل إلي منسوب المياه الجوفية تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية. ومع توالي سقوط الأمطار يتسرب المزيد من الماء في الأرض، بينما يكون نطاق التهوية عموما أقرب إلي الجفاف بين فترات سقوط المطر باستثناء الحافة الشعرية وطبقة التربة الرطبة.

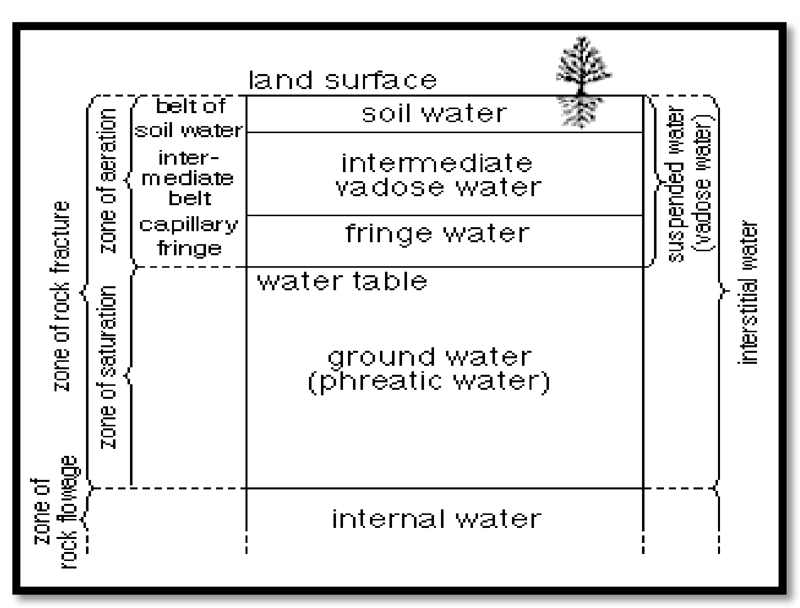


ب -نطاق التشبع :

ويلي نطاق التهوية إلى أسفل ، وفيه تكون مسامات الصخور مملوءة كليا بالماء ويطلق على المياه الجوفية الموجودة في هذا النطاق اسم المياه الأرضية ، ويعرف السطح العلوي لنطاق التشبع باسم منسوب الماء الأرضي water table .

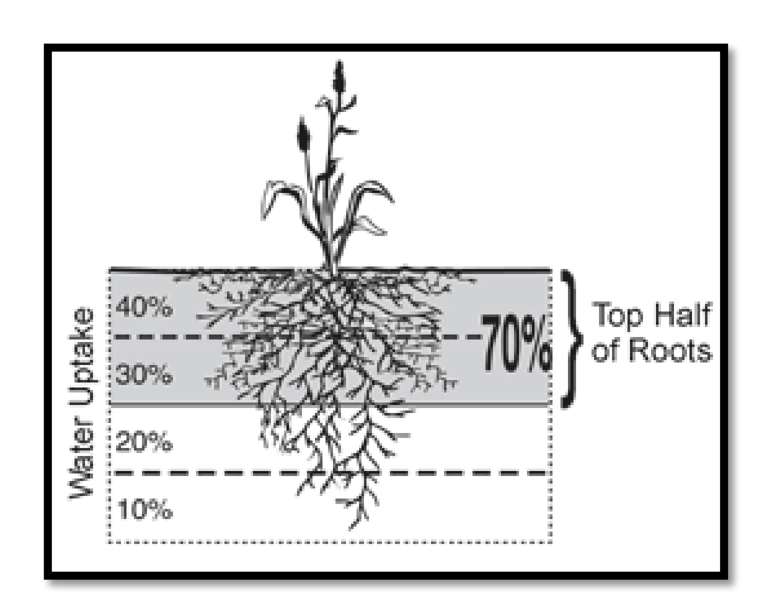
١-نطاق التشبع المتغير :

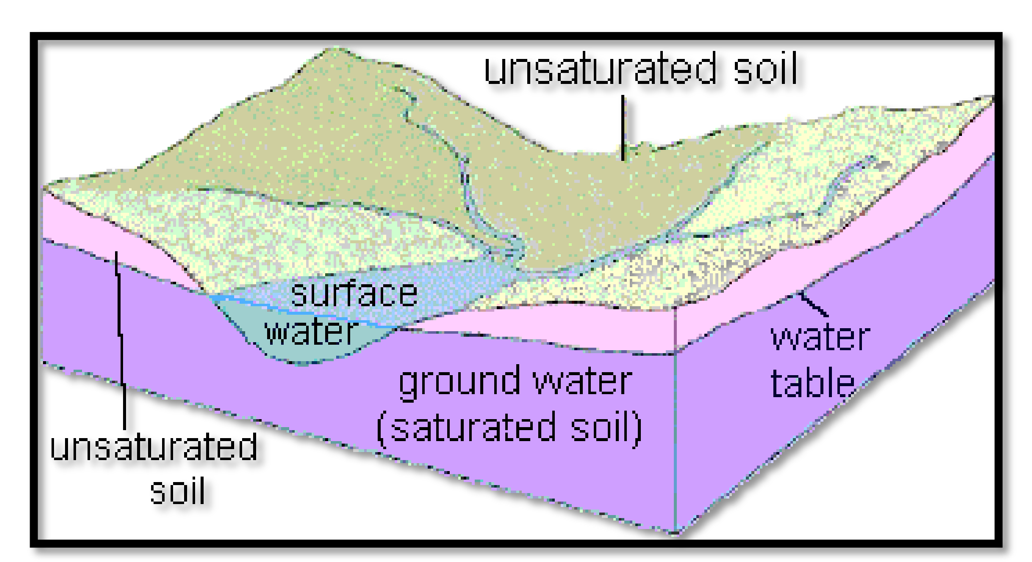
وهي المنطقة التي تعلو المياه الجوفية ويوجد بها الماء موسميا نتيجة لزيادة الأمطار وتجف في مواسم الجفاف وقد يوجد بها الماء نتيجة للخاصية الشعرية وسمك هذا النطاق بتغير تبعا لكمية الأمطار .



٢- نطاق التشبع الدائم :

وهي المنطقة التي تحتوي دائما على الماء الجوفي حيث يتواجد في مسام الصخور وشقوقه وقد يبلغ عمق هذا النطاق ١٠٠٠ متر ويحد هذا النطاق من اسفل طبقة صماء ومن اعلى مستوى الماء الجوفي .





– حركة الماء فى نطاق التشبع :

يطلق على حركة الماء الجوفي في نطاق التشبع مصطلح تخلل percolation، وهى عملية تشبه انسياب الماء من الإسفنج عند عصره بلطف. ويتخلل الماء ببطء في مسام صغيرة جدا ويتحرك عبر مجار مائية دقيقة. وتكون تلك الحركة أسهل عبر الأجزاء المركزية من الفراغات، ولكن تقل إلي الصفر عند جوانب كل فراغ بسبب قوى الالتصاق الجزئي molecular attraction.

ويتحرك الماء تحت تأثير الجاذبية الأرضية من المناطق التي يكون فيها منسوب المياه الجوفية عاليا إلي المناطق التي يكون منسوب الماء فيها منخفضا. ومعنى ذلك أن الماء يتحرك عموما في اتجاه المجاري المائية أو البحيرات على سطح الأرض ويتحرك بعض الماء فقط أسفل منسوب المياه الجوفية مباشرة متبعا أقصر الطرق، بينما ينساب معظم الماء في مسارات طويلة ومنحنية تمتد بعيدا في باطن الأرض. كما تتجه بعض المسارات العميقة إلي أعلى ضد الجاذبية الأرضية، حيث تدخل المياه الجوفية إلي بحيرة أو مجرى مائي، ويحدث هذا الانسياب لأعلى عندما يكون الماء واقعا تحت تل أو مرتفع ويكون على أي مستوى في نطاق التشبع، لأنه يكون حينئذ واقعا تحت ضغط اعلى من الضغط الموجود أسفل المجرى المائي. ولذلك يميل الماء لأن ينساب ناحية النقاط التي يكون الضغط فيها أقل ما يمكن. ومع ذلك، تتحرك معظم المياه الجوفية التي تدخل إلي المجرى المائي على امتداد مسارات ضحلة ليست بعيدة عن منسوب المياه الجوفية.

<u>ج – سرعة انسياب المياه الجوفية:</u>

انحدار سطح المياه الجوفية عن طريق قياس الفرق في الارتفاع بين نتقطتين (h1 وh2) تقعان على هذا السطح وقسمة الناتج على المسافة الأفقية بين النقطتين. ويطلق على قيمة الانحدار الناتج عموما التدرج الحيدروليكي hydraulic gradient. وهكذا تتناسب سرعة الماء الأرضي (V) مع التدرج الهيدروليكي.

وفي منتصف القرن التاسع عشر توصل المهندس الفرنسي دارسي Henri Darcy إلي أن سرعة الماء الرضي لا ترجع إلي انحدار منسوب الماء الجوفي (الانحدار الهيدروليكي) فقط ولكن إلي نفاذية الصخر الذي ينساب الماء خلاله أيضا. وقد اقترح دارسي معادلة يربط بها بين النفاذية وعجلة الجاذبية الأرضية ولزوجة الماء المشار إليه بمعامل (K). ويسمى هذا المعامل بمعامل النفاذية coefficient of permeability، وهو يقيس ببساطة السيولة التي يتحرك بها الماء خلال الصخر.

<u>أنواع المياه الجوفية:</u>

<u>وتوجد أربعة أنواع من المياه الباطنية:</u>

<u>(أ) مياه باطنية عذبة أو ملحة:</u> إختزنت في صخور رسوبية أثناء عمليات ترسيبها ومازالت تحتويها هذه الصخور حتى وقتنا الحالي، وتعرف بالمياه الحفرية

<u>(ب) مياه باطنية عذبة:</u> ترتبط بعمليات النشاط الناري، أو تحرك كتل من الصهير فوق قشرة الأرض أو صوب سطحها، وما ينجم عن هذه الحركة من إنطلاق مياه ساخنة تحتوي على بعض العناصر المعدنية، ثم إختزانها في الفراغات البينية التي توجد بين جزيئات الصخر، وتعرف هذه المياه عادة بمياه الصهير أو المياه الحديثة.

(ج) مياه باطنية ملحة: توجد تحت سطح الأرض في المناطق الساحلية وترجع هذه المياه أصلاً إلى مياه المحيطات والبحارالتي تتسرب في صخور اليابس وتكويناته وتسمى بالمياه البحرية أو المحيطية .

(د) مياه باطنية عذبة: مستمدة من مياه الثلوج أو الأمطار التي تتسرب في باطن الأرض وتسمى بالمياه الجوفية لأنها ترتبط بظواهر الطقس والجو ممثلة في ظاهرة التساقط. وبمثل هذا النوع أهم أنواع المياه الباطنية.

فمياه الأمطار إذن، تمثل المصدر الرئيسي لأهم أنواع المياه الباطنية، ويتوقف تسرب هذه المياه إلى باطن الأرض على نوع الصخور، وما إذا كانت هذه الصخور من النوع المتماسك أو النوع غير المتماسك، فمياه الأمطار عندما تسقط فوق منقطة تتألف من رمال سائبة، سرعان ما تتسرب عقب سقوطها في تكوينات الرمال التي تكاد تختفي منها المجاري السطحية للمياه، كما أنه إذا ما سقطت مياه الأمطار على منطقة تتألف من صخور رملية أو طباشيرية فلابد أن يتسرب جزء كبير منها خلال هذه الصخور المتماسكة على وجود الشقوق والمفاصل فيها إذ تتسرب مياه الأمطار في جوف الأرض إذا ما هطلت فوق منطقة تتألف من صخور جيرية كثيرة الشقوق والمفاصل. ويمكن القول بصورة عامة، بأن مياه الأمطار عندما تتساقط على منقطة متدرجة النحدار تقع في عروض معتدلة، وتنقسم إلى ثلاثة أقسام شبه متساوية: قسم يجري على سطح الأرض في صورة أنهار ومجار مائية، وقسم ثان يتسرب إلى باطن الأرض، وقسم ثالث يعود إلى الجو ثانية على شكل بخار قبل ملامسته لسطح الأرض.

مستويات تواجد المياه الجوفية:

وتوجد المياه الجوفية - في معظم الأحوال - تحت سطح الأرض على منسوب معين هو الذي يعرف بمستوى الماء الباطني . ويختلف هذا المنسوب عمقاً من مكان إلى آخر، فيكون قريباً من سطح الأرض في المناطق الرطبة الغزيرة الأمطار، والقريبة من البحار والأنهار. ويكون بعيداً عن سطح الأرض في المناطق الجافة. ويكاد يتمشى مستوى المياه الباطنية إلى حد كبير مع شكل التضاريس التي يتألف منها سطح الأرض، وكثيراً ما يتقاطع هذا المنسوب مع سطح الأرض في المناطق المنخفضة، كالأودية والمنخفضات، فيصبح جزء من هذا السطح تحت مستوى المياه الباطنية، ومن هنا تنشأ المستنقعات والبطائح المائية.

ويمكننا بصورة عامة أن نميز ثلاث طبقات واضحة لكل منها خصائص معينة فيما يتصل بعلاقتها بالمياه الجوفية:

أ)**طبقة غير حاوية للمياه الجوفية أو عديمة التشبع** وهي التي توجد على سطح الأرض مباشرة، وهي لا تتشبع بالمياه إلا إذا كانت توجد بعض المياه الراكدة على سطح الأرض في صورة مستنقع أو بحيرة، تمر بهذه الطبقة وتتسرب خلال مسامها وشقوقها مياه الأمطار وهي في طريقها إلى خزانها الرئيسي في باطن الأرض. وتحتوي التربة السطحية على كمية محدودة من

المياه هي التي تمتصها جذور النبات وعلى هذا يمكن القول بأن هذه الطبقة منفذة للمياه ولكنها لا تختزنها.

(ب) طبقة متقطعة التشبع وتنحصر هذه الطبقة بين أعلى منسوب يصل إليه مستوى المياه الباطنية بعد فترات الأمطار الغزيرة، وبين أدنى منسوب يهبط إليه في فصل الجفاف. وهذا يعني إنه إذ حفرت آبار في هذه الطبقة فلابد أن تكون فصلية وليست مستديمة.

(ج) طبقة مستديمة التشبع وهي التي تستقر فيها مياه الأمطار التي يمنع تسربها إلى باطن الأرض وجود طبقة صماء في أسفلها. ومعظم الآبار التي تحفر إلى أ، تصل إلى هذه الطبقة، آبار عميقة قد يزيد عمقها في بعض الأحيان على الثلاثة آلاف قدم.

من هذا نرى أن مستوى المياه الباطنية يعلو في بعض الجهات وينخفض في جهات أخرى مما يؤدي إلى تحرك المياه الباطنية من الجهة التي يعلو فيها هذا مستوى إلى الجهة التي يكون مستواه فيها منخفضاً. كما أن هذا المستوى لا يتميز بأنه عبارة عن منسوب ثابت، لأن غزارة الأمطار في فصل من فصول السنة لابد أن تؤدي إلى إرتفاع منسوب المياه الجوفية إرتفاعاً واضحاً. على أننا يجب أن نلاحظ دائماً أن حركة إرتفاع المياه الباطنية أو هبوطها خلال مسام الصخر وشقوقه حركة بطيئة تستغرق وقتاً طويلاً لكي تتم. فإذا كان فصل الشتاء هو فصل سقوط الأمطار فلابد أن تنقضي فترة من الوقت لكي يرتفع منسوب المياه الجوفية وغالباً ما يحدث هذا الإرتفاع في الربيع أو في أوائل فصل الصيف. وتتوقف المدة التي يستغرقها تسرب مياه الأمطار في صخور القشرة - مما يؤدي إلى رفع مستوى المياه الجوفية - على عوامل عديدة منها: درجة إنفذا الصخر للمياه، ودرجة ميل الطبقات الحاوية للمياه الجوفية، وكمية الأمطار التي تتساقط على الإقليم.

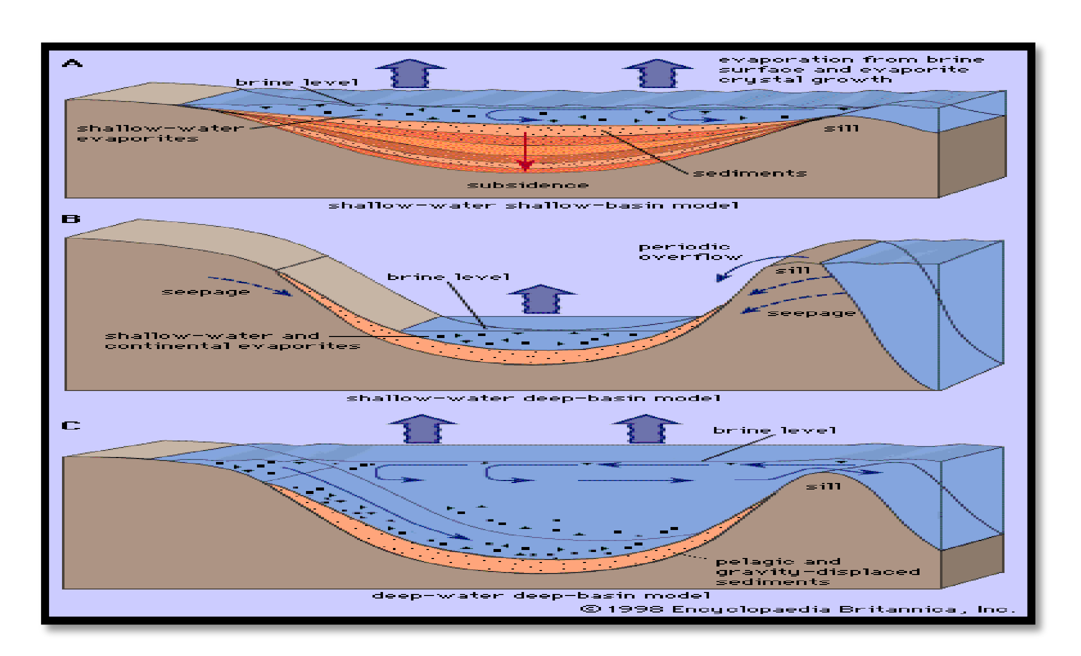
أصل المياه الجوفية:



دورة المياه الطبيعية

تبدأ دورة المياه الأرضية بمياه المحيطات والتي تغطي حوالي ثلاثة ارباع سطح الكرة الأرضية ونظراً لتعرضها لأشعة الشمس فإنها تتبخر وتتجمع الأبخرة المتصاعدة في الغلاف الجوي مكونة السحب وتحت ظروف معينة تتكثف السحب وتسقط على شكل أمطارو برد وثلوج وتعرف الأشكال المختلفة المتساقطة بالمياه السماوية المنشأ والتي تشكل المصدر الرئيسي للمياه العذبة على سطح الأرض حيث يجري قسماً منها إلي مجاري الأنهار والوديان والبحيرات أما القسم الثاني فيتغلغل في التربة السطحية ليبقى معظمه في منطقة جذور النباتات ويسحب مرة ثانية إلي السطح بواسطة النباتات أو برية بالخاصية الشعرية للتربة وتستمر نسبة صغيرة في التغلغل إلي أسفل منطقة الجذور تحت تأثير الجاذبية الأرضية حيث تدخل الخزان المائي الأرضي وعند اتصالها بالمياه الجوفية فإن المياه المتغلغلة تتحرك أفقياً في مسام الطبقات المشبعة بالماء وقد تظهر مرة أخرى على السطح على هيئة ينابيع في بعض المناطق التي ينخفض فيها منسوب سطح الأرض عن منسوب دخول تلك المياه إلي الطبقة وتجري مياه الينابيع مرة اخرى على السطح مع المياه السطحية إلي المحيطات وتُعرف حركة المياه هذه بالدورة المائية.

كذلك فقد تنشأ المياه الجوفية ولكن بكميات قليلة جداً نتيجة بعض التفاعلات الكيماوية التي تحدث تحت سطح الأرض وتُعرف بالمياه الوليدة (Juvenile Water) كما هو الحال في المياه المصاحبة لانفجار بركاني حيث تنتج مباشرة من انطلاق أبخرةالماء التي كانت محبوسة داخل صخور منصهرة عندما تبرد قبل وصولها إلى سطح الأرض.

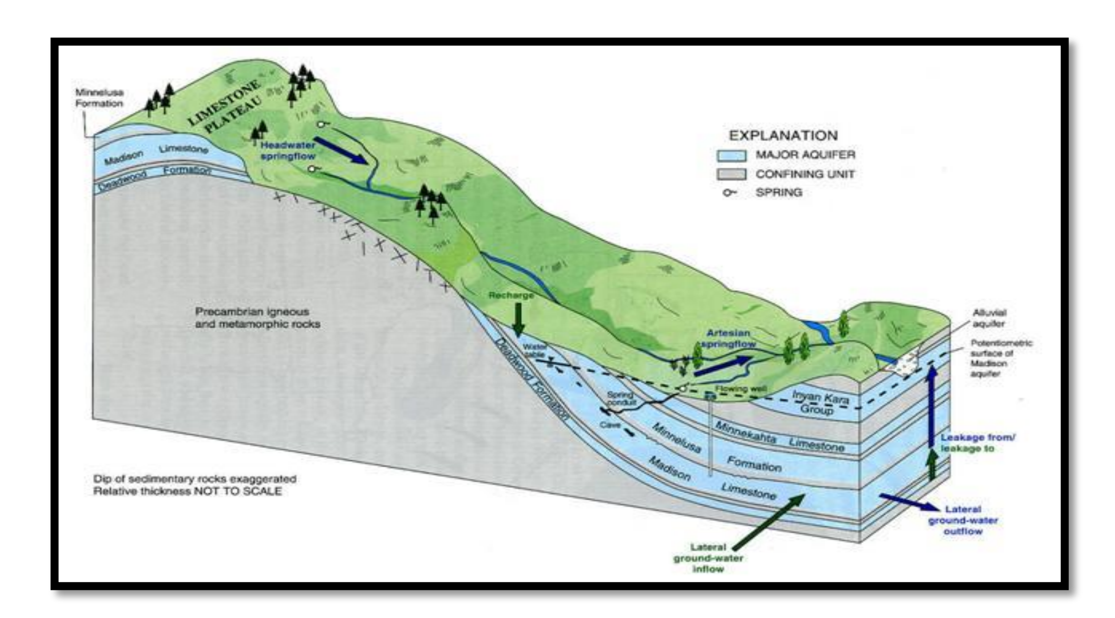


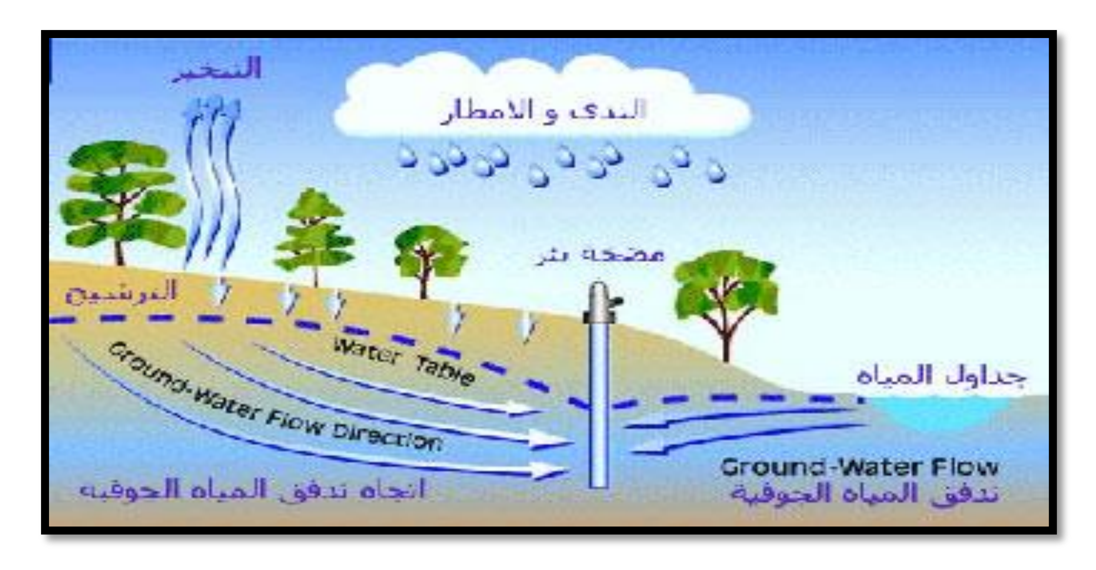
تواجد المياه الجوفية وحركتها:

تتواجد المياه الجوفية في أي نوع من الصخور الرسوبية أو النارية أو المتحولة وسواء كانت تلك الصخور متماسكة أو متفككة بشرط أن تكون المادة الصخرية مسامية ومنفذه بدرجة كافية.

و تعتمد التكوينات الجيولوجية في قدرتها على حمل المياه على وجود الفتحات في مادتها الصخرية. وجميع المواد الصخرية تقريباً تحتوي على فتحات يمكن تقسيمها لعدة أنواع مثل:

١. الفتحات البينية، الشقوق والفواصل، الفجوات والكهوف.
٢. الفتحات بين جزيئات المواد الصخرية المفككة كما هو الحال في التكوينات الرملية أو الحصوية.
٣. الصدوع والفواصل والشقوق في الصخور المتماسكة والصلبة والتي تنشأ عن تكسير تلك الصخور.
٤. أخاديد الذوبان والكهوف في الأحجار الجيرية والفتحات الناتجة عن انكماش وتقلص بعض الصخور عند تبلورها أو انطلاق الغازات من الحمم والبراكين.





<u>و بناء على ما سبق فإنه يمكن تقسيم التكوينات الجيولوجية إلى أربعة أنواع وهي:</u>

- **<u>الخزان المائي</u>** (Aquifer):

هو تكوين جيولوجي تحتوي مواده الصخرية على فتحات مملوءة بالمياه وتكون هذه الفتحات كبيرة بحيث تسمح بحركة المياه من خلالها ومن أمثلته الطبقات المكونة من الرمل والحصي.

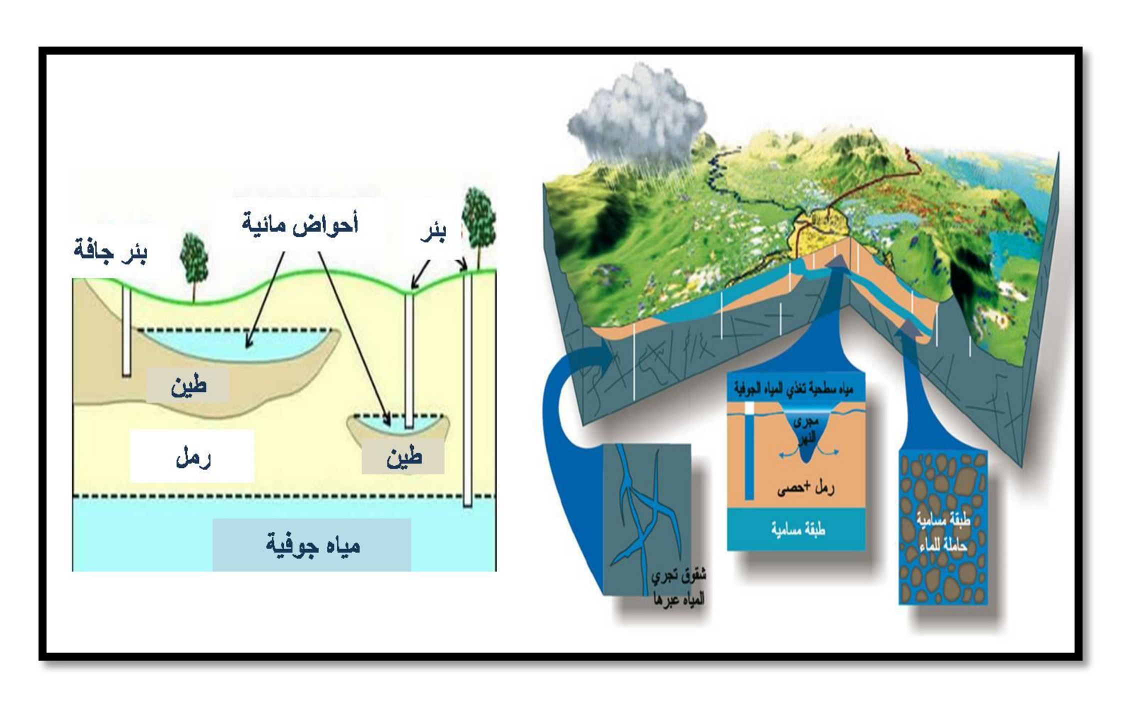
- **<u>المعوق المائي</u>** : (Aquitard):

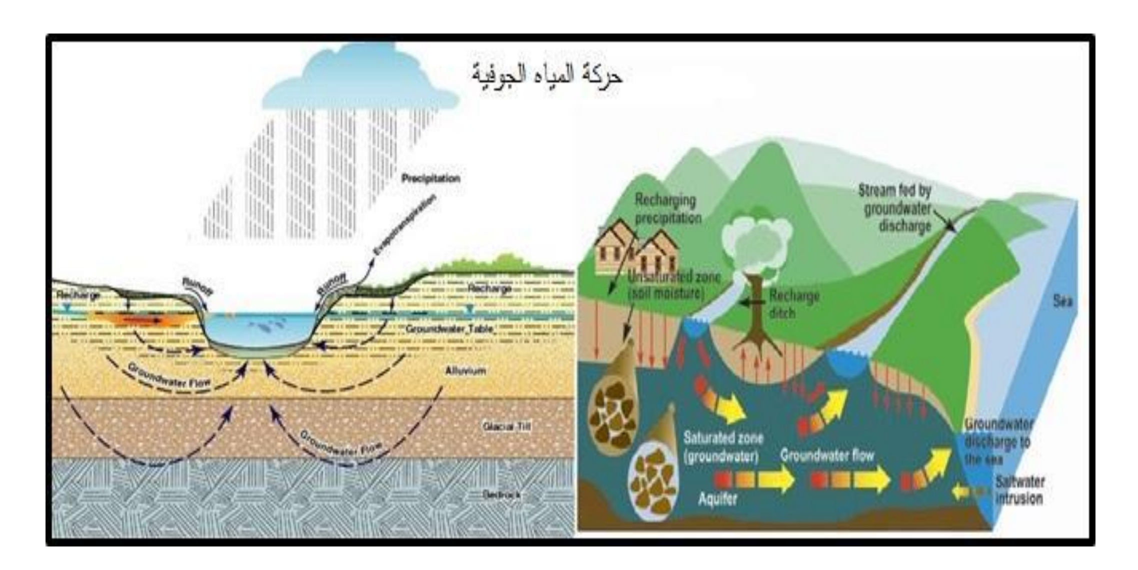
هو تكوين جيولوجي تحتوي مواده الصخرية على فتحات مملوءة بالمياه وتكون هذه الفتحات صغيرة نسبياً أو غير متصلة بحيث تعوق حركة المياه من خلالها بدرجة كبيرة ومن أمثلته الطبقات الرملية الطينية.

- **<u>العازل أو الفاصل المائي</u>**: (Aquiclude):

هو تكوين جيولوجي تحتوي مواده الصخرية على فتحات قد تكون مملوءة بالمياه ولكن هذه الفتحات دقيقة جداً بحيث لا تسمح بحركة المياه من خلالهاو من أمثلته الطبقات الطينية.

- **<u>المهرب المائي</u>**: (Aquifuge) : هو تكوين جيولوجي من الصخور الصلبة لا تحتوي على مياه وإن وجدت فإنها لاتسطيع الحركة من خلال مادته الصخرية لأنها لا تحتوي على فتحات ومن أمثلته الجرانيت.





ـ <u>تصنيف الطبقات الجيولوجية حسب قدرتها على حمل المياه الجوفية</u>:

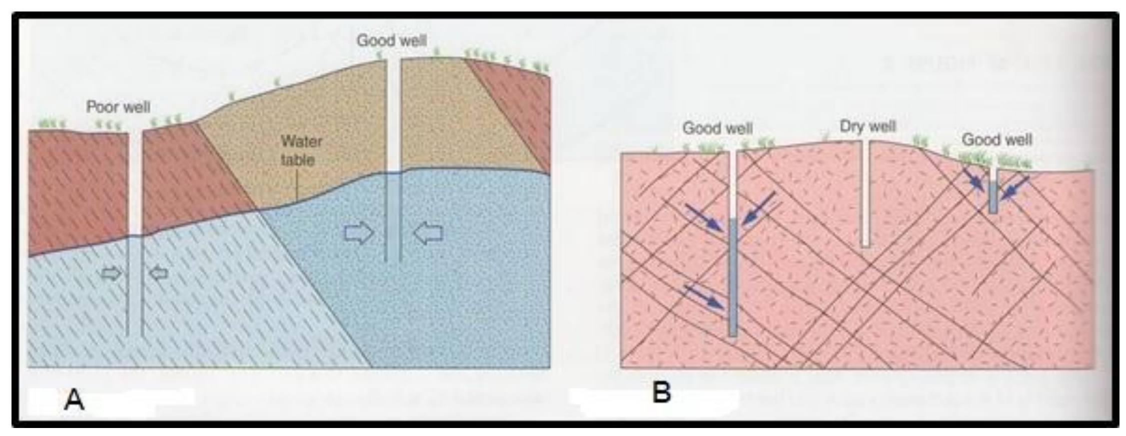
لا تشكل جميع التكوينات الجيولوجية خزانات مياه جوفية (مكامن)، وذلك يرجع إلي اختلاف هذه التكوينات في خواصها الصخرية والتركيبية. وبالتالي، يمكن تقسيم التكوينات المختلفة حسب قدرتها على حمل المياه الجوفية إلي الأقسام التالية:

<u>أ – مكامن للمياة الجوفية: aquifers</u>:

<u>وهي طبقات حاملة للمياه الجوفية تتميز بصفتين أساسيتين وهما:</u>

١ – القدرة على تخزين المياه في الفراغات الموجودة في الصخور (أي تتميز بمساميتها العالية porosity).

٢ – القدرة على امرار المياه عبر الفراغات الموجودة في الصخور بكميات كبيرة (أي تتميز بنفاذية permeability عالية). ومن امثلة هذه المكامن الصخور الرملية والرواسب الرملية والوديانية والصخور الجيرية المشققة، وكذلك الصخور النارية والمتحولة المشققة والمجواة.



خزانات المياه الجوفية

ب – طبقات حابسة للماء أو كتيمة aquicludes: وهى تكاوين جيولوجية تتميز بصفتين هما :

١ – القدرة على تخزين المياه في الفراغات الموجودة في الصخور (أي تتميز بمساميتها العالية).
و٢ – ليس لها قدرة على إمرار المياه عبر الفراغات من مكان إلي آخر بكميات كبيرة (أي تتميز بنفاذية منخفضة)، ومن أمثلة هذه التكاوين الصخور الطينية.

ج – طبقات صماء aquifuges: وهى تكاوين ليس لها قدرة على تخزين أي كمية من الماء، حيث لا يوجد بها أي نوع من الفراغات (منعدلة المسامية)، وبالتالي فليس لها أي قدرة على إمرار الماء عبر فراغاتها (منعدلة النفاذية). ومن أمثلة هذه التكاوين الصخور النارية غير المشققة وغير المجواة.

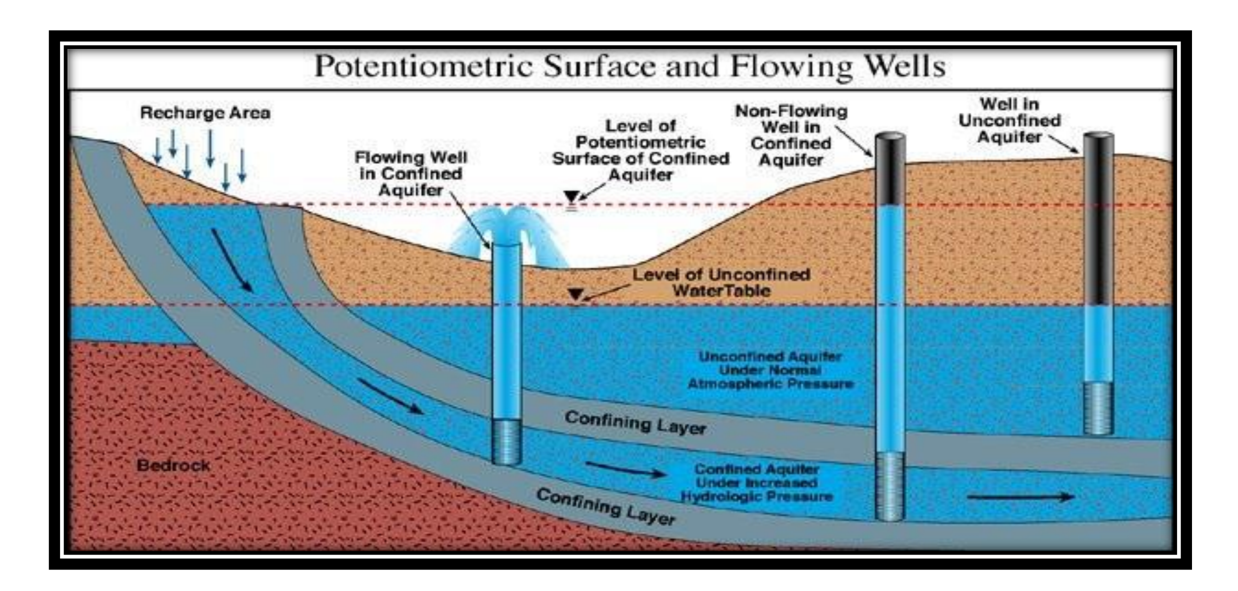
وسيكون اهتمامنا منصبا هنا على النوع الأول والذي يشمل مكامن المياه الجوفية التي تتواجد بكثرة في مصر، مثل الخزانات الموجودة على امتداد وادي النيل والدلتا وخزان الحجر الرملي النوبي تحت الصحراء الغربية والصحراء الشرقية وسيناء، وكذلك خزانات الحجر الجيري المتشقق والصخور النارية والمتحولة المتشققة أيضا ولكن يلاحظ أن النوعين الأخيرين يكونان محدودي الانتشار والأهمية.

أ – مكامن المياه الجوفية :

يطلق على أماكن تواجد المياه الجوفية مصطلح مكمن ماء جوفي aquifer. ويعرف مكمن الماء الجوفي بأنه جسم مكون من الصخور أو الحطام الصخرى (الأديم) عالي النفاذية يقع في نطاق التشبع ويختزن المياه الجوفية ويسمح بسريانها بكميات تكفي لإمداد الآبار بالماء. وتعتبر طبقات الجرول والرمل والحجر الرملي المنفذ مكامن مياه جوفية جيدة عموما، لأنها عادة ما تكون عالية النفاذية وتمتد على مساحات كبيرة. ومع ذلك فإن وجود المادة اللاحمة بين حبيبات الحجر الرملي يقلل قطر المسام وتقل بالتالي النفاذية.

ويسمى مكمن الماء الجوفي مكمن ماء غير محصور unconfined aquifer عندما ينطلق سطحه العلوي مع منسوب المياه الجوفية نظرا لأنه ممتلئ جزئيا بالماء، بحيث يلامس بذلك الغلاف الجوي .

وعندما يحد حابس ماء (طبقة غير منفذة) مكمن مياه جوفية ممتلءاً بالماء من أعلى ومن أسفل، فإن مكمن المياه الجوفية يسمى مكمن ماء محصور confined aquifer، ويكون انسياب الماء في هذا المكمن نحت ضغوط عالية. ويرتفع وينخفض منسوب المياه الجوفية في مكمن الماء غير المحصور خلال الفصول الممطرة والجافة، بينما لا يستجيب مكمن الماء المحصور لأي تغيرات فصلية.



الفرق بين الخزان المحصور وغير محصور

وإذا وجد حابس للماء مثل طبقة من الصلصال قليلة النفاذية في نطاق التهوية فوق منسوب المياه الجوفية الرئيسي، فإن الماء المتخلل لأسفل يصطاد جزء منه ويحبس ليكون نطاق تشبع محلياً يسمى ماءً جوفياً جاثماً perched groundwater يحده منسوب ماء جاثم (معزول) water table perched. وتكون المياه الجاثمة عدسات صغيرة يطلق عليها عدسة مائية معلقة. ولكن قد يمتد الماء الجاثم لمئات الكيلومترات المربعة. وقد يكون الماء الجاثم عبارة عن جزء منعزل من الطبقة الحاملة للمياه الجوفية تفصله عن بقية الطبقة صخور قليلة النفاذية أو غير منفذة (حابس للماء). ويضخ الماء من آبار الماء الجاثم ولكن بكميات محدودة عادة.

وفي مصر: يعتبر مكمن الحجر الرملي النوبي Nubian Sandstone Aquifer مثالا للمكامن الإقليمية، حيث يشغل مساحات واسعة في مصر سواءا فوق سطح الأرض أو تحت السطح . وهو جزء من نظام إقليمي يمتد عبر الحدود الجغرافية لكل من ليبيا والسودان غربا، وفي كل من فلسطين والأراضي المحتلة والأردن والسعودية شرقا. ويتراوح سمك متكون الحجر الرملي النوبي بين أقل من ٥٠٠ متر وأكثر من ٣٠٠٠ متر من الحجر الرملي، والذي يتخلله في مواقع كثيرة طبقات طفلية يتجاوز سمكها مائة متر. وهو يتواجد غالبا في شكل عدسات تسبب حصرامحليا في متكون الحجر الرملي النوبي. أما الحصر الإقليمي فتسببه طبقات طفلية سميكة تعرف بطفل الداخلة Dakhla Shale أو طبقات الطفل متعدد الألوان Variegated Shale.

ب – بعض خصائص مكامن المياه الجوفية :

تملأ المياه الجوفية الفراغات الموجودة في الصخور، كما تستطيع هذه المياه المرور في الصخور من جزء لآخر، وتعرف هاتان الخاصيتان بالمسامية والنفاذية على الترتيب. ونعرض فيما يلي وصفا لهاتين الخاصيتين:

١ – المسامية :

تعرف المسامية porosity بأنها خاصية وجود فراغات أو مسام بين حبيبات الصخور أو الرواسب. وتقدر المسامية بنسبة الحجم الكلي للفراغات إلي حجم الصخر نفسه مضروبا في مائة (أي النسبة المئوية). وهذه المسامية هى التي تحدد كمية الماء التي يمكن أن يخزنها حجم معين من الرواسب أو الصخور. وتؤثر أحجام وأشكال حبيبات الصخر، بالإضافة إلي طريقة كبس (دمج) الحبيبات compactness، وطريقة ترتيبها في المسامية . وقد تصل المسامية في بعض الرمال أو الجرول gravel جيد الفرز إلي نسبة ٢٠%، بينما تصل المسامية في بعص الصلصال clay المسامي إلي نسبة ٥٠%، رغم أن حجم أي من مسام الصلصال يكون دقيقا جدا عنه في الرمل والجرول. وتتأثر المسامية في الصخر الرسوبي ليس فقط بالفرز sorting وتعبئة (ترتيب) الحبيبات، ولكن بالدرجة التي تمتلئ بها المسام بالمادة اللاحمة أيضا. وعلى الجانب الآخر تكون مسامية الصخور النارية والمتحولة منخفضة وتنتج عن وجود بعض الفواصل والكسور بها.

٢ – النفاذية :

تعرف النفاذية permeability (من اللاتينية permeaer بمعنى يخترق أو ينفذ إلي) بأنها قابلية الصخر لإمرار سائل خلال مسامه. ولا تعنى المسامية العالية بالضرورة وجود نفاذية عالية، لأن حجم ومدى اتصال المسام ببعضها يؤثران على النفاذية بطريقة هامة.

وتلعب العنقة بين حجم المسام والالتصاق الجزيئي molecular attraction لأسطح الصخر دورا كبيرا في تحديد نفاذية الصخر. والالتصاق الجزيئي هو قوة توجد بين سطح الجسم الصلب وغلالة رقيقة من الماء، حيث تتسبب هذه القوة في التصاق هذه الغلالة بسطح الصخر، على الرغم من قوة الجاذبيةالأرضية. فإذا كانت المسافة المفتوحة بين الحبيبات المتجاورة في الصخر صغيرة بدرجة ملحوظة فإن الغلالات الرقيقة من الماء والملتصقة بالحبيبات تتلامس مع بعضها البعض. لذلك يمتد تأثير قوة الالتصاق الجزيئي عبر المسام . وعند الضغوط العادية يلتصق بعض هذا الماء بقوة بجدر الحبيبات، ولذلك تكون النفاذية منخفضة. والصلصال هو مثال لتلك الرواسب، حيث يبلغ حجم حبيباته أقل من ٠,٠٠٥مم. وعلى الرغم من أن الصلصال عالي المسامية إلا أن الحجم الصغير جدا للمسام يجعل نفاذية الصلصال منخفضة. وعلى العكس من ذلك، ففي الرواسب التي تحتوي على حبيبات كبيرة مثل الرمل (حجم الحبيبة بين ٠,٠٦ إلي ٢مم) فإن المسام تكون عادة أكبر من سمك غلالات الماء الملتصقة بالحبيبات المتجاورة. ولذلك فإن المياه في مركز المسام تكون حرة الحركة ، ومثل هذه الرواسب تكون منفذة. وتزداد النفاذية بزيادة أقطار المسام، وبالتالي فإن الجرول يكون أكثر نفاذية من الرمل لوجود مسام كبيرة جدا به، ولذا يمكن ضخ كميات كبيرة من الماء منه.

ج – الانسياب الارتوازي:

تنتقل المياه الجوفية في مكمن الماء غير المحصور خلال الطبقات المنفذة التي تمتد إلي سطح الأرض في مناطق إعادة الملء والتصريف. ويكون مستوى الخزان في مكمن الماء غير المحصور هو ارتفاع مستوى الماء الجوفي نفسه، أما في مكمن الماء المحصور، فإن الماء لا يمكن أن ينساب خلال الطبقة غير المنفذة للماء أو ينساب خلالها ولكن ببطء شديد. ولكن ينساب الماء تحت ضغط خلال الطبقة المنفذة والحاوية للماء والمحصورة من أعلى ومن أسفل بالطبقات غير المنفذة. وتمنع الطبقات غير المنفذة، والتي تقع فوق مكمن الماء المحصور، مياه الأمطار من التسرب إلي أسفل. ويتم إعادة ملء مكمن الماء المحصور من تساقط الماء فوق منكشفة، حيث تدخل مياه الأمطار إلي الأرض وتنتقل لأسفل إلي مكمن المياه الجوفية ، حيث يكون انسياب الماء تحت ضغط. ويعرف هذا الانسياب بأنه انسياب ارتوازي aetesian flow ويكون الضغط عند أي نقطة في مكمن الماء مساويا لوزن كل الماء فوق تلك النقطة. فإذا حفر بئر في مكمن ماء محصور عند نقطة بحيث يكون ارتفاع سطح الأرض أقل من ارتفاع منسوب المياه الجوفية في منطقة إعادة الملء، فإن الماء ينساب خارج البئر تلقائياً. وتعرف مثل هذه الآبار بالآبار الارتوازية aetesian wells. ولا تحتاج مثل هذه الآبار إلي طاقة لضخ الماء إلي السطح، حيث يسبب الفرق في الضغط بين منسوب الماء الأرضي عند منطقة إعادة الملء ومستوى البئر أن يرتفع الماء في البئر. ويأتي مصطلح ارتوازي aetesian من اسم المدينة الفرنسية أرتوا Artois والتي تم فيها دراسة الانسياب الارتوازي لأول مرة. وبالمثل، فإن الينبوع المنساب طبيعياً من مكمن ماء ارتوازي يعرف بأنه ينبوع ارتوازي aetesian spring.وتحت بعض الظروف غير العادية، فإن ضغط الماء الارتوازي قد يكون مرتفعاً بدرجة تؤدي إلي تكون نافورات ترتفع إلي ٦٠ متراً فوق سطح الأرض.

– العلاقة بين مكامن المياه الجوفية والمياه السطحية:

يدخل الماء إلي نطاق التشبع ويغادره في عمليتين يطلق عليهما عمليات إعادة الملء والتصريف.

فعملية إعادة الملء recharge هى تخلل الماء في أي متكون صخري تحت سطح الأرض. ويتم غالبا إعادة الملء من رشح ماء المطر أو الجليد المنصهر من سطح الأرض. وقد يعاد الملء أيضا من خلال قاع مجرى مائي، حيث تقع قناة المجرى المائي عند مستوى أعلى من منسوب المياه الجوفية. ويسمى المجرى المائي الذي تتسرب مياهه لتغذي نطاق التشبع تحته بمجرى مائي مؤثر (نهر مغذ) influent stream. ويندر وجود الأنهار المغذية في المناطق القاحلة، حيث يكون منسوب المياه الجوفية عميقا . وفي مصر يعتبر نهر النيل مجرى مائيا مؤثرا، حيث تعتمد المياه الجوفية في مكمن المغرة Moghra aquifer (والذي يمتد لمسافات شاسعة غرب دلتا نهر النيل) على التسرب من نهر النيل. ولذلك تكون ملوحة الماء منخفضة قرب دلتا نهر النيل (حوالي ٣٥٠ جزءا في المليون) ثم تزداد بالتدريج غربا لتصل إلي حوالي ١٠٠٠٠ جزء في المليون.

أما التصرف discharge فهو عكس إعادة الملء، وهو مصطلح يطلق على عملية خروج الماء الجوفي من نطاق التشبع إلي المجاري المائية أو البحيرات أو المستنقعات عند السطح. وعندما تقطع قناة مجرى مائي منسوب المياه الجوفية، ينصرف الماء من نطاق التشبع إلي المجرى المائي. ويلاحظ أن قاع المجرى المائي يقع في منسوب منخفض عن منسوب المياه الجوفية. ويميز المجرى المائي المتأثر effluent stream المناطق الرطبة. ويستمر المجاري المائية المتأثرة في الانسياب لفترة طويلة حتى بعد توقف سقوط الأمطار، حيث تغذى من المياه الجوفية. وهكذا فإن خزان الماء الجوفي قد يزود بالماء من المجاري المائية المؤثرة، بينما يستنفد بالمجاري المائية المتأثرة.

أ – التوازن بين إعادة الملء والتصريف:

عندما تتوازن عمليتا إعادة الملء والتصريف، فإن خزان المياه الجوفية ومنسوبه يبقيان ثابتين في الظروف الطبيعية، حتى مع استمرار انسياب الماء إلي الخزان. ولكي تتوازن عمليتا إعادة الملء والتصريف فإن ماء المطر يجب ان يكون متكررا باستمرار بدرجة تكفي لتعادل كمية الماء المنصرف من الأنهار، بالإضافة إلي الماء المتدفق من الآبار والينابيع. وحيث إن كميات التساقط تتغير من فصل لآخر، فإن التوازن بين إعادة الملء والتصريف لن يبقى ثابتا. وعموما فإن مستوى الماء الجوفي ينخفض في الفصول الجافة ويرتفع في الفترات الرطبة. كما تؤدي زيادة التصريف، والتي تحدث عادة نتيجة زيادة الضخ من الابار إلي عدم الاتزان. وقد تنتهي الابار الضحلة عندما يكون ضخ الماء من البئر أسرع من إعادة تزويد خزان الماء الجوفي بالماء فينخفض مستوى الماء في البئر على شكل مساحة مخروطية تحيط بالبئر، تعرف بمخروط الانخفاض cone of depression ، وينخفض مستوى الماء في البئر إلي المستوى المنخفض لمنسوب الماء الجوفي. وإذا امتد مخروط الانخفاض تحت قاع البئر أصيب البئر بالجفاف. وإذا كان قاع البئر فوق قاعدة خزان الماء الجوفي فإن زيادة عمق البئر في الخزان تسمح لمزيد من الماء بالتدفق من البئر، حتى عند معدلات ضخ عالية. وإذا زاد عمق البئر إلي الدرجة التي يستنفد بها كل خزان الماء الجوفي، واستمرت عملية الضخ، فإن مخروط الانخفاض يمكن أن يصل لإلي قاع خزان الماء الجوفي ويستنفده. ويتحسن وضع خزان الماء الجوفي بخفض معدل الضخ بدرجة تكفي لإعادة ملء الماء.

ولا يؤدي السحب الشديد للماء لاستنفاد ماء الخزان الجوفي فقط، ولكن قد يسبب تأثيرا آخر غير مرغوب فيه. حيث تهبط المواد التي كانت تعلو خزان الماء الجوفي في السابق وينخفض سطح الأرض نتيجة لذلك بسبب انخفاض ضغط الماء في المسام. ويعتمد مقدار الهبوط على مدى انخفاض ضغط الماء وعلى سمك خزان الماء الجوفي ومدى ضغط الرواسب فيه. وينتشر هبوط سطح الأرض في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية حيث أدى ضخ وزيادة سحب الماء الجوفي إلي تمزق سطح الأرض وانهيار المباني والطرق والجسور وتخريب الكابلات الكهربائية المدفونة وأنابيب الصرف وزيادة المساحات المعرضة للفيضان.

وقد يكون انخفاض سطح الارض مدمرا خاصة عندما يضخ الماء من تحت المدن. ومن الأمثلة المشهورة على ذلك مدينة مكسيكوسيتي، حيث أدى ضخ الماء من الرواسب إلي تحرك عديد من المباني وميلها نتيجة هبوط سطح الأرض. ويمثل برج بيزا المائل الشهير في إيطاليا والذي مال بسبب هبوط سطح الأرض مثالا آخر، حيث بنى البرج على سهل فيضي مكون من رواسب دقيقة الحبيبات. وبدأ البرج في الميل نتيجة السحب المتزايد للمياه الجوفية من خزانات المياه العميقة المحيطة به. وقد أعد تصميم لتقوية الأساسات لتحفظ البرج مستقرا في المستقبل، ولكن مع ضرورة الحفاظ على المستوى نفسه من التحكم في المياه الجوفية.

ويواجه السكان الذين يعيشون بالقرب من الشواطئ المطلة على المحيطات والبحار مشكلة أخرى حينما يكون معدل الضخ مرتفعا بالنسبة لإعادة الملء، مما يؤدي إلي غزو ماء البحر للآبار كما سبق شرحه. ويوجد بالقرب من خط الشاطئ (أو في منطقة الساحل المغمور على مسافة من الشاطئ) حد يفصل بين الماء المالح والماء العذب تحت سطح الأرض، بحيث ينحدر هذا الحد ناحية اليابسة وأسفلها، ويعلو الماء العذب فوق الماء المالح في خزان الماء الجوفي . ويوجد الماء الجوفي العذب تحت عدد من الجزر في المحيط على هيئة عدسات تطفو فوق قاعدة من ماء البحر، لأن الماء العذب يكون أقل كثافة من ماء البحر (١,٠٠جم/سم٣ مقابل ١,٠٢جم/سم٣ وهذا الفرق صغير ولكن مهم). وبالطبع فإن ضغط الماء العذب يحافظ على حد الماء المالح بعيدا قليلا عن الشاطئ.

ويحافظ التوازن بين إعادة الملء والتصريف في خزانات الماء العذب على هذا الحد الفاصل بين الماء العذب والماء المالح، طالما أن إعادة الملء بماء المطر تكافئ التصريف بالضخ على الأقل مما يؤدي إلي أن يضخ البئر ماءا عذبا. ولكن عندما يكون سحب الماء أسرع من إعادة الملء فإنه يتكون مخروط انخفاض عند قمة خزان الماء الجوفي يقابله مخروط آخر مقلوب يرتفع من أسفل الحد بين الماء العذب والماء المالح.ويؤدي مخروط الانخفاض عند الجزء العلوي من خزان الماء الجوفي إلي صعوبة ضخ ماء عذب، بينما يؤدي المخروط السفلي إلي تسرب ماء مالح عند قاعدة البئر . ويكون السكان المقيمون بالقرب من شاطئ البحر أول من يتأثر بزيادة ملوحة الماء، حيث لا يمكن التغلب على تلك المشكلة إلا بتقليل ضخ الماء أو إعادة ملء خزان الماء الجوفي صناعيا من المياه الجارية.

ب – التصريف الطبيعي (الينابيع) والصناعي (الآبار) :

يحصل الناس عموما على احتياجاتهم من المياه الجوفية إما من الينابيع الطبيعية أو بحفر الآبار التي تصل إلي خزانالماء تحت سطح الأرض. ونعرض هنا لكلا هذين النوعين من أنواع التصريف:

١ – الينابيع :Springs

يعرف الينابيع spring بأنه انسياب المياه الجوفية بحيث ينفذ طبيعيا عند سطح الأرض. وأبسط أنواع الينابيع هو الذي ينفذ عندما يتقاطع سطح الأرض مع منسوب المياه الجوفية. ويمكن أن توجد الينابيع الصغيرة في كل أنواع الصخور، ولكن معظم الينابيع الكبيرة تخرج غالبا من اللابة أو الحجر الجيري أو الجرول.

ويكون التغير الأفقي أو الرأسي في النفاذية سببا شائعا لوجود الينابيع . وغالبا ما ينتج هذا التغير في النفاذية عن وجود جسم من صخر غير منفذ أو أقل نفاذية بدرجة كبيرة مجاور لصخر آخر منفذ. فإذا كان هناك رمل مسامي يعلو حابساً للماء مكون من صلصال أقل نسبيا في درجة النفاذية، فإن الماء المتخلل لأسفل خلال الرمل ينساب جانبيا حينما يصل إلي الصلصال الموجود أسفله، حيث ينفذ كينبوع. ويقطع الحد الاستراتجرافي (الطبقي) بين الوحدتين سطح الأرض، على امتداد جانب وادي أو جرف cliff. وقد تنفذ الينابيع أيضا من صخر ناري كتلي مثل الجرانيت به كثير من الفواصل. كما توجد الينابيع أيضا على امتداد خطوط الصدوع ، أو في صخور بها كهوف مثل الحجر الجيري ، مثل تلك التي توجد في واحة سيوة وجنوب القطارة وحلوان ووادي الريان بمصر. وقد أظهرت الدراسات وجود أكثر من ١٤٠٠ ينبوع بمصر يتدفق منها الماء بدرجات متفاوتة، كما تختلف في درجات حرارتها، وقد تصل إلي ٧٠م فوق سطح الأرض، مثل تلك التي توجد في ينبوع حمام فرعون على الجانب الشرقي لخليج السويس والعين السخنة على الجانب الغربي لخليج السويس وبير قفار في منخفض القطارة.

إن المياه المتخللة داخل الطبقات التحت سطحية والمتكونة على هيئة خزانات جوفية تكون تحت ضغط تلك الطبقات من جميع الجهات، فعند حدوث فالق في تلك الطبقات فإنها تندفع إلى أعلى السطح مكونة فيما يعرف بالينابيع.Springs .

وصدق الله العظيم إذ يقول("أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرَى لِأُولِي الْأَلْبَابِ" الزمر ٢١ . ويعبر عن المياه التي تسرى ذاتياً وباستمرار من الطبقات التحت سطحية إلى الطبقات السطحية بالينابيع أو العيون .

وتنقسم الينابيع إلى عدة أنواع أهمها :

أ– ينابيع الانخفاضات :Depression Springs

وهذه تتكون عندما يتقاطع سطح الأرض في منخفض مع سطح الماء الأرضي Water Tableولذلك فتسمى أيضاً ينابيع مستوى الماء الأرضي وعادة ما يكون تصرف هذه الينابيع صغيرا ومحكوما بنفاذية التكوين الحامل للماء .

ب – ينابيع التلاقي : Contact Springs

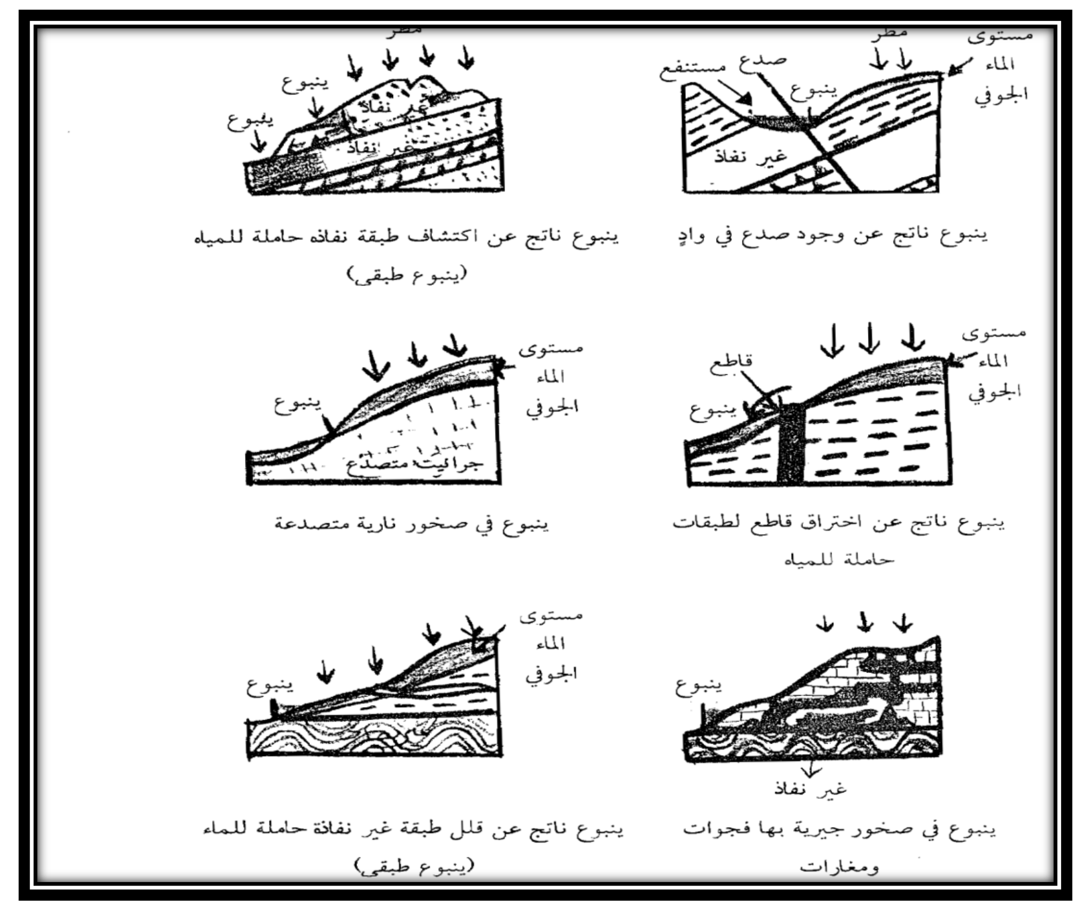
وهذه تتكون عندما تتقابل الطبقة غير المنفذة والحاملة لطبقة الماء الأرضي مع سطح الأرض. وتتكون هذه الينابيع عادة عند سفوح المرتفعات وهي قليلة التصرف محدودة السريان .

ج – الينابيع الارتوازية : Artesian Springs

وتتكون عندما يجد الماء المحصور بين طبقتين غير منفذتين والواقع تحت ضغط ارتوازي منفذاً لهذا الضغط نتيجة لضعف في الطبقة غير المنفذة أو لوجود صدع فيها. وتكون سرعة السريان في هذه الينابيع ومعدلات التصرف كبيرة. . وهذه نتيجة لصدع يمتد في القشرة الأرضية وتتميز بمياه معدنية بصورة واضحة.

د– الينابيع الحارة : Thermal Springs

وهذه تحدث نتيجة للغازات وللحرارة تحت سطح الأرض والتي يتولد عنها ضغوط كبيرة ومنها الينابيع الفوارة (المراجل Geyser والتي يتدفق منها الماء في صورة نافورة إلى سطح الأرض على فترات.



ينبوع ناتج عن وجود صدع في وادٍ

ينبوع ناتج عن اكتشاف طبقة نفاذه حاملة للمياه (ينبوع طبقي)

ينبوع ناتج عن اختراق قاطع لطبقات حاملة للمياه

ينبوع في صخور نارية متصدعة

ينبوع في صخور جيرية بها فجوات ومغارات

ينبوع ناتج عن قلل طبقة غير نفاذة حاملة للماء (ينبوع طبقي)

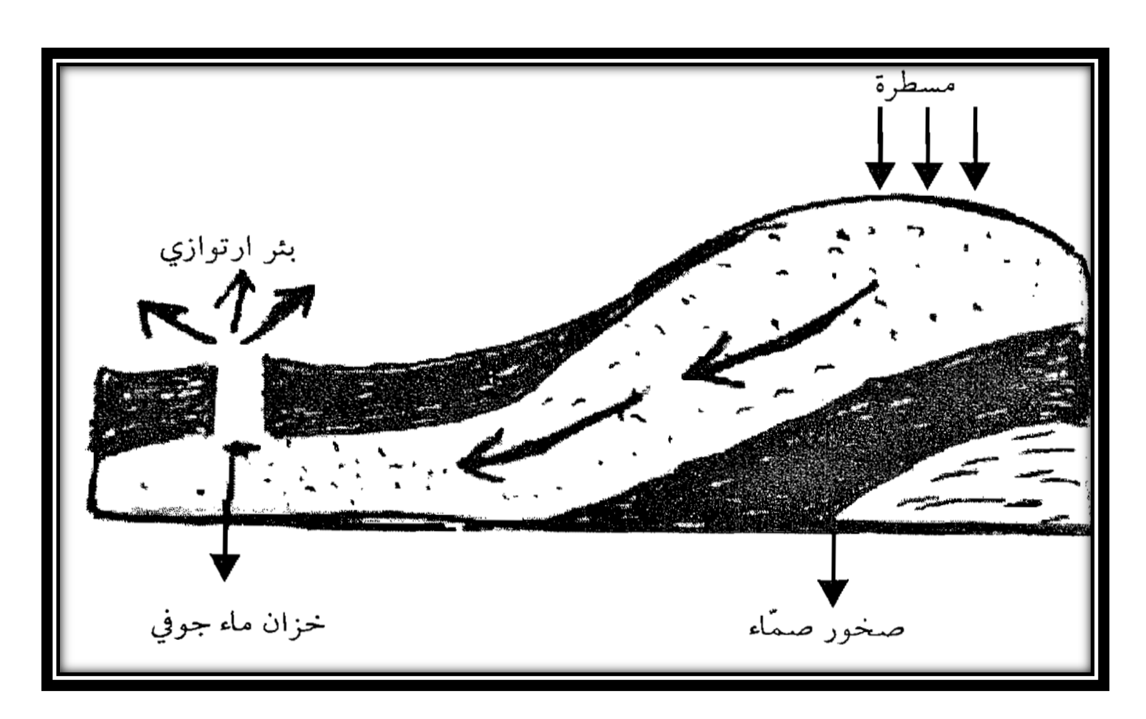
٢ – الآبار الإرتوازية:

البئر well هو حفرة صناعية دائرية عادة ومبطنة الجوانب، حفرت إلي عمق كبير تحت منسوب المياه الجوفية يسحب أو يضخ الماء منها إلي سطح الأرض. أن البئر الضحل يجف عندما يصبح منسوب المياه الجوفية منخفضا، بينما ينتج البئر العميق المجاور الماء على طول العام.

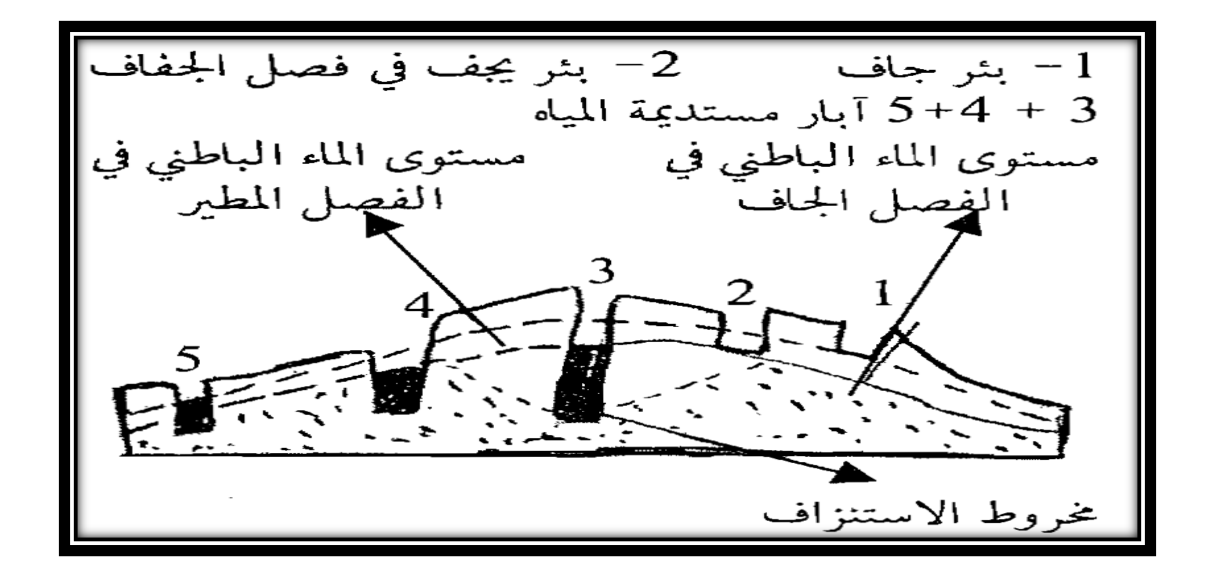
وعندما يبدأ ضخ الماء من بئر جديدة، فإن معدل السحب يزيد في البداية عن معدل انسياب المياه الجوفية محليا. وكما ذكرنا سابقاً، فإن عدم الاتزان في معدلات الانسياب يؤدي إلي تكون

انخفاض مخروطي في منسوب المياه الجوفية يحيط مباشرة بالبئر، ويسمى مخروط الانخفاض cone of depression

تظهر الآبار الإرتوازية إذا مالت الطبقات الصماء التي تحتوي فيما بينها الطبقة المنفذة للمياه والمتشبعة بالمياه الجوفية (أو خزان المياه الجوفي) ميلاً متقارباً بحيث تظهر هذه الطبقة وكأنها منثنية إنثناء مقعراً، فلابد أن يساعد هذا على تكوين حوض أرتوازي تختزن فيه المياه الباطنية حتى إذا حفرت لها بئر في وسط الإنثناء، ففي هذه الحالة تصعد المياه إلى سطح الأرض بقوة هيدروستاتكية (قوة إندفاع المياه إلى أعلى إندفاعاً طبيعياً) لكي تعادل منسوب الماء الأعلى في الطبقة المسامية المقعرة.



الآبار الإرتوازية

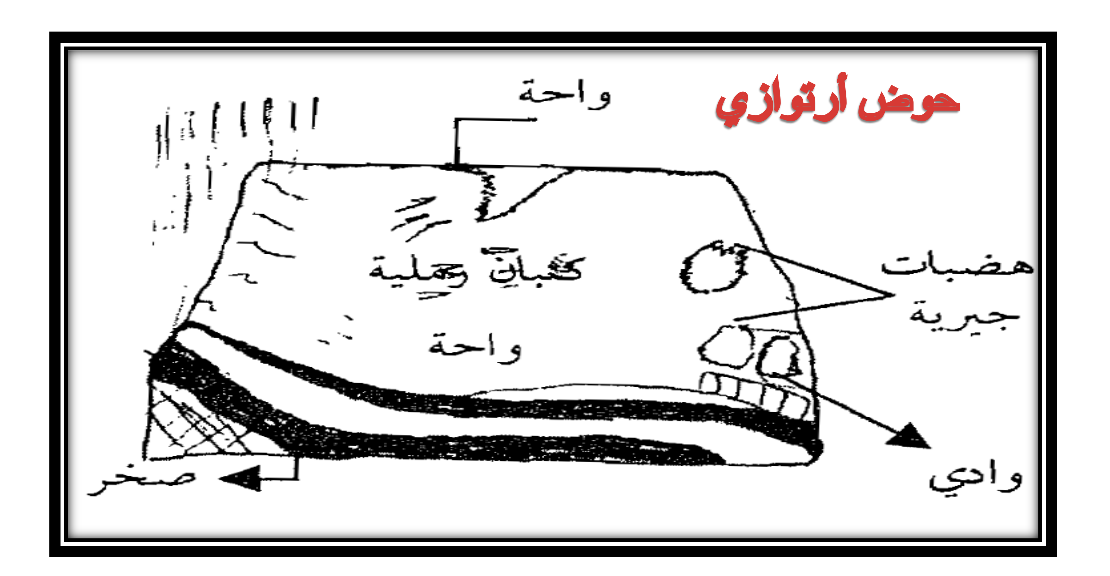


رسم تخطيطي لبئر

فكأن الآبار الإرتوازية والحالة هذه - لا تظهر أو تتكون إلا إذا توافرت شروط جيولوجية معينة كوجود ثنية إلتوائية مقعرة، أو منطقة حوضية تحدها حوائط مرتفعة بحيث تندر من جميع الجهات صوب قاعها، وتكاد هذه الشروط تتوافر في بعض مناطق من العالم.

ولا يوجد في الإقليم المصري من الآبار ما ينطبق عليه الوصف العلمي الصحيح للآبار الإرتوازية، بل كل ما في وادي النيل والدلتا من الآبار، هي الآبار الإعتيادية التي تستمد مياهها من طبقات رملية حصوية ترتكز فوقها الرواسب الطينية الفيضية. ويخترق مجرى النيل طبقات الرمل والحصى هذه مما يؤدي إلى تسرب مياهه إليها تسرباً جانبياً فتتشبع بالمياه، ولهذا يجد النهر في المياه التي تحتويها هذه التكوينات الرملية الحصوية مورداً آخر يغذيه في أوقات التحاريق التي ينخفض فيها منسوب مياهه. وبهذه الطريقة يعود إلى النهر قدر كبير من المياه التي تسربت جانبياً في الطبقات الرملية التي يتعمق مجراه خلالها.

أما منخفضات الصحراء الغربية، كالخارجة، والداخلة، والبحرية، والفرافرة، فيرجع خصبها في وسط هذه الصحراء الجدباء إلى وجود عيون متفجرة وآبار أقرب ماتكون إلى الآبار الإرتوازية الصحيحة. وتستمد هذه الآبار معظم مياهها من طبقة الخرسان النوبي المتشبعة بالمياه، وتبدأ هذه الطبقة فوق سطح الأرض على سفوح جبال عنيدي ودارفور في غرب السودان، وعندما تهطل الأمطار على هذه المرتفعات تمتصها الصخور الرملية التي تختفي تحت طبقات أحدث كلما إتجهنا شمالاً، وتنحدر المياه مع ميل هذه الصخور وإنحدارها، صوب الشمال لتظهر على شكل آبار وينابيع في منخفضات الصحراء الغربية. وتختلف وتتفاوت مناسيب المياه الجوفية في منخفضات الصحراء الغربية إذ بينما نجد مستوى الماء الباطني في الواحات الخارجة على عمق يتراوح بين ٦٥٠، ٧٠٠ متر تقريباً نجده في الواحات الداخلة على عمق يتراوح بين ٣٠٠، ٤٠٠ متر تقريباً.



كيفية حفر بئر ارتوازى:



إن البئر سواءاً كانت ضحلةً أو عميقةً ، فهي تنشأ وتتجدد (بإعادة الإمتلاء) عن طريق الترسيب ،إن المياه الجوفية هي جزء من الدورة الهيدرولوجية، و تنشأ عندما يهطل جزء من هطول الأمطار التي تسقط على المصارف في سطح الأرض (فتتسرب) من خلال التربة ويتسرب للأسفل لتشكل تجمعاً للمياه الجوفية ، وسوف تصعد المياه الجوفية في نهاية المطاف مرة أخرى إلى السطح، من خلال تفريغ لتيارات والينابيع والبحيرات، أو المحيطات، وذلك لإكمال دورة الهيدرولوجية ، في مناطق المياه الجوفية.

و يتم حفر البئر أولاً من خلال المنطقة تمر في منطقة غير المشبعة حيث تتواجد الفتحات في التربة، و تمتلئ الرواسب، أو صخرة مكشوفة للهواء ، الماء الموجود هنا يقوم فقط بالعبور نحو

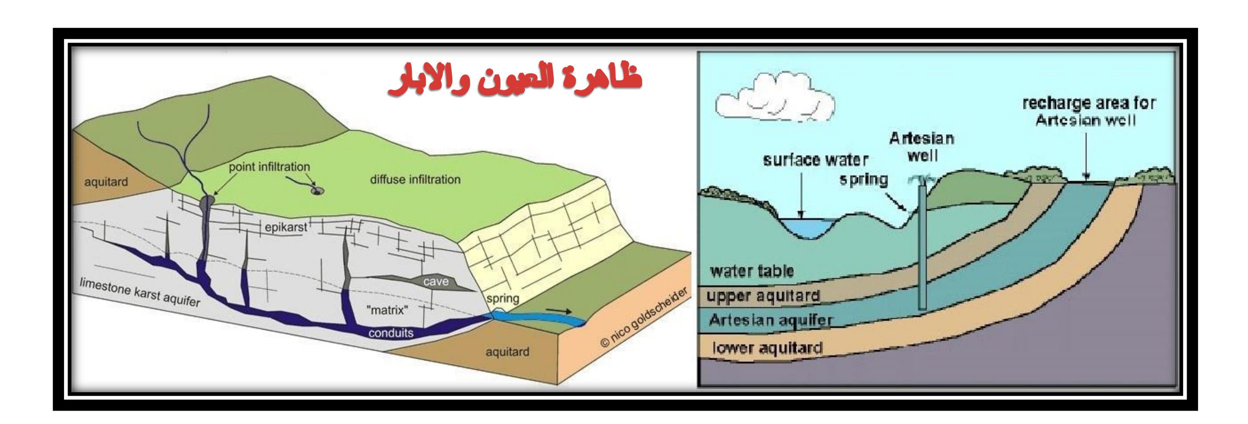
الإنخفاض ، و سمك هذه المنطقة يعتمد على عوامل مثل المناخ، الإرتفاع، والموسم من السنة، و يتم سحب المياه الجوفية من خلال الضخ على مستوى المنطقة ، في موسم الأمطار في المناطق الرطبة، قد تكون المنطقة غير المشبعة طبقة رقيقة إلى حد ما، و تمتد من سطح الأرض إلى بضعة أمتار (١٠ أقدام أو نحو ذلك) تحت سطح الأرض ،ولكن في الأشهر الجافة من السنة، قد تمتد المنطقة الغير المشبعة إلى درجة أعمق حيث التغذية منخفضة من المياه الجوفية وتتطلب زيادة السحب ، في المناطق القاحلة، قد تكون المنطقة غير المشبعة طبقة سميكة، و تمتد من سطح الأرض إلى ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) أو أكثر تحتها.

سوف يتطلب الأمر المزيد من الحفر للوصول إلى منطقة تدعى المنطقة المشبعة حيث تمتلئ جميع الفتحات بالماء، وحيث يعرف الماء بالماء الجوفي ، إذا المنطقة المشبعة هي منفذة بما يكفي لتوفير كم جيد من الماء تحت التدرجات الهيدروليكية العادية، وتسمى هذه المنطقة المشبعة طبقة المياه الجوفية ، والأهم من ذلك، طبقة المياه الجوفية ليست تحت أرض نهر أو بحيرة أو بركة السباحة ، بل تتألف من المواد الجيولوجية على مساحات مفتوحة (الفراغات المسامية) تمتلئ بالماء الذي يتحرك أسفل تدرج الضغط، والتي يمكن إستغلالها من قبل آبار منتجة .لتصور المناطق، تخيل دلو مملوء بالحصى ، مساحة المسام وافرة موجود بين القطع الفردية من الحصى ،إذا تم سكب الماء على رأس الحصى، الماء سوف يتسرب إلى أسفل من خلال الفراغات المسامية وتبدأ في ملء هذه الفراغات من أسفل إلى أعلى، إن الماء في الفراغات المسامية في الجزء السفلي من دلو تمثل المياه الجوفية؛ وهذا يعني، يتم ملء جميع الفراغات المسامية بالماء ، إذا كانت هناك ثقوب في الجزء السفلي من الدلو، فإن المياه ستتدفق ، بإستخدام هذا القياس، فإن دلو الحصى هو بمثابة طبقة المياه الجوفية: و يتم تخزين المياه الداخل في ذلك، و سوف يتحرك من خلاله نحو نقطة التفريغ في هذه الحالة، الثقب في دلو.

الآبار الارتوازية المتدفقة هي نموذج عن حفر آبار تصل إلى طبقات المياه الجوفية المحصورة ، البئر ارتوازي هو المنطقة حيث يرتفع مستوى المياه الجوفية فيها عن مستوى توغل طبقة المياه الجوفية ،فإن الماء في البئر الإرتوازي سيرتفع إلى الجهة التي يكون فيها الضغط في الخزان الجوفي مقابلاً لضغط الماء في البئر ، ويعرف هذا المستوى بالمستوى الهيدروليكي ، إذا تصل المياه الجوفية على طول الطريق إلى السطح تحت ضغط خاص بها، مكونةً ما يسمى بالبئر الإرتوازية .

العيون الحارة:

قد تبلغ المياه المتسربة في باطن الأرض عمقاً كبيراً في بعض الأحيان فتكتسب حرارة عظيمة. وليس أدل على إرتفاع درجة حرارة المياه الجوفية كلما إزداد عمقها من أن درجة حرارة المياه المستمدة من آبار الواحات المصرية تتراوح في المعتاد بين بين ٢٤ درجة مئوية، و٤٠ درجة مئوية، هذا على الغرم من أن منسوب المياه الباطنية في هذه الواحات ليس بالغ العمق.



ومعنى هذا أنه كلما إزداد عمق المياه الجوفية إرتفعت درجة حرارتها. وإذا ما وجدت في التكوينات الصخرية العليا التي تمتد فوق سطح الأرض مباشرة بعض الإنكسارات والشقوق، أو إعتراض الطبقة العميقة الحاوية للمياه الجوفية قاطع صخري، فلابد أن تخرج المياه إلى سطح الأرض في صورة عيون شديدة الحرارة هي التي ترعف بالعيون الحارة.

ومثل هذه العيون معروف بالإقليم المصري وخصوصاً على شواطئ خليج السويس ومن أحسن أمثلتها، عيون حمام فرعون على الساحل الشرقي لخليج السويس (في شبه جزيرة سيناء) التي تبلغ درجة حرارة المياه المتدفقة منها حوالي ٧٠ مئوية.

ولابد بطبيعة الحال من أن تؤثر مثل هذه المياه في صخور قشرة الأرض، ويرجع هذا أولاً وقبل كل شئ إلى أن هذه المياه بحكم ما تكتسبه من الغازات،وخصوصاً ثاني أكسيد الكربون لها مقدرة كبيرة على إذابة بعض المواد المعدينة،فإذا تخللت صخوراً جيرية مثلاً، إستطاعت أن تذيب منها مقداراً كبيراً من كربونات الكالسيوم حتى إذا تدفقت بعد ذلك على سطح الأرض في شكل عيون، كانت هذه العيون جيرية وتترسب من مياهها بعض المواد الجيرية أو الترافرتين التي تتراكم حول فوهة العين أو بالقرب منها.

وإذا تخللت المياه الساخنة طبقات تحتوي على مركبات الحديد أو الكبريت، تكونت عيون حديدية أو كبريتية. ومن الطبيعي أن تكون مياه العيون الحارة معدنية (أي تحوي الكثير من العناصر المعدنية المذابة) أكثر من غيرها، ويرجع هذا إلى أن الماء الساخن أكثر قدرة من المياه على إذابة المواد المعدنية التي تتألف منها الصخور. ولهذا نجد أن أغلب العيون الحارة، إما عيون كبريتية (كعيون حلوان وحمام فرعون)، أو سيلكية، أو جيرية، أو بها أملاح الكلور أو الماغنسيوم).

الخزانات الجوفية:

تُعرف التكوينات أو الطبقات المشبعة بالمياه والقابلة للإستغلال بالخزانات الجوفية (Aquifers) أو الطبقات الحاملة للمياه (Water Bearing Strata) وتنقسم الخزانات الجوفية من حيث طبيعة تواجدها إلي: الخزانات الحرة (الغير مقيدة) ،الخزانات المقيدة (الارتوازية)، الخزانات شبه مقيدة والخزانات المُعلقة.

أنواع خزانات المياه الجوفية :

١- الخزان الجوفي الحر Unconfined Aquifer :

ويحد هذا الخزان طبقة صماء من أسفله أما أعلاه متصلاً اتصالاً مباشراً بالضغط الجوى ويحده المستوى المائي الأرضي من أعلاه وتتصل هذه الطبقة اتصالا وثيقا بسطح الأرض حيث تتأثر بمياه الري والأمطار .

٢- الخزان الجوفي المحصور :Confined Aquifer :

وهو الخزان المحصور بين طبقتين صماوتين غير منفذتين من الأعلى والأسفل . ويحد الطبقات الحاملة للمياه من أسفل ومن أعلى طبقات صماء غير منفذة للمياه وبهذا تكون المياه داخل الخزان تحت ضغط كبير وتكون بهذا معزولة عن المياه السطحية ومصدر هذه المياه عادة يكون بعيداً جداً. وإذا كان الضغط البيزومترى لهذه الطبقات أعلا من سطح الأرض قيل عن الخزان بأنه خزان ارتوازيArtesian Aquifer والآبار الارتوازية تندفع منها المياه دون الحاجة لاستخدام مضخات ويوجد مثل هذه الخزانات بالصحارى المصرية مثل الوادي الجديد.

٣- الخزان شبه المحصور : Semi Confined :

وفيه إحدى الطبقات التي تحده من أعلى أو من أسفل ذات نفاذية ضئيلة ومنه تتسرب المياه إلى الطبقات الخارجية أو اليها.

٤- الخزان الجوفي المعزول :Perched Water :

وهو نتيجة للتراكيب الجيولوجية وتوجد ارتفاعات وانخفاضات في الطبقات غير المنفذة فعند الانخفاضات تحتجز المياه الجوفية وفى هذه الحالة يكون الخزان الجوفي محدود وغير متصل بأي خزانات أخرى ومصدرها عادة أما سطحي أو نتيجة للتسرب البطئ من خزانات أخرى تحته.

٥- الخزان الأثري :Connate Water :

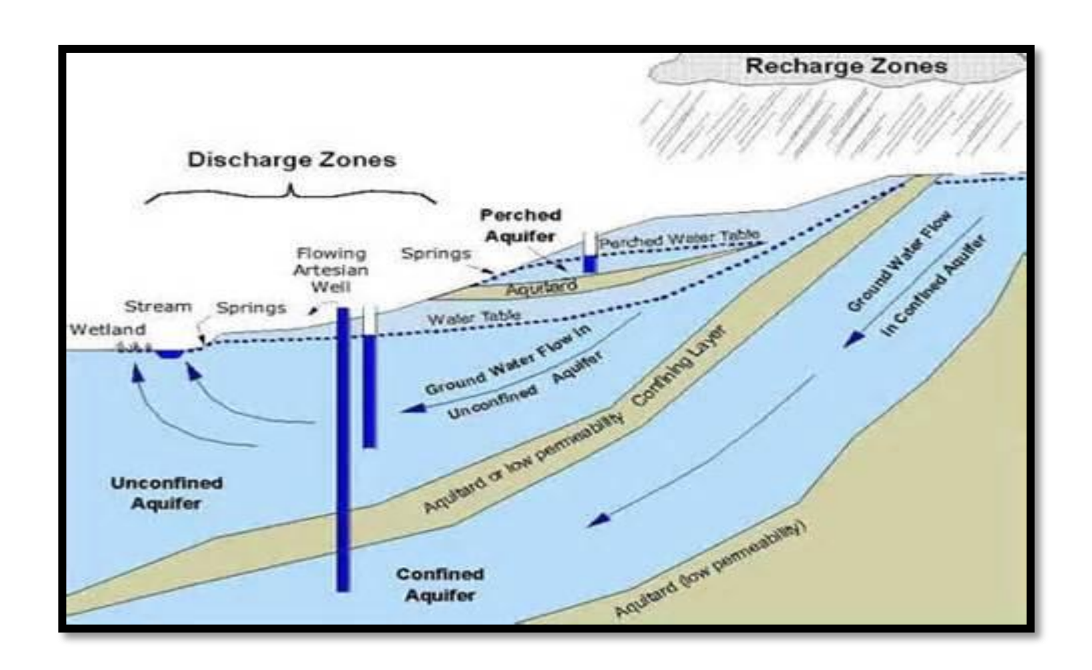
وهذه المياه الجوفية عادة تكون محتجزة لحظة تكوين الصخور أو منذ إنشائها وهذه المياه عادة ليس لها أي اتصال أو مصادر خارجية.

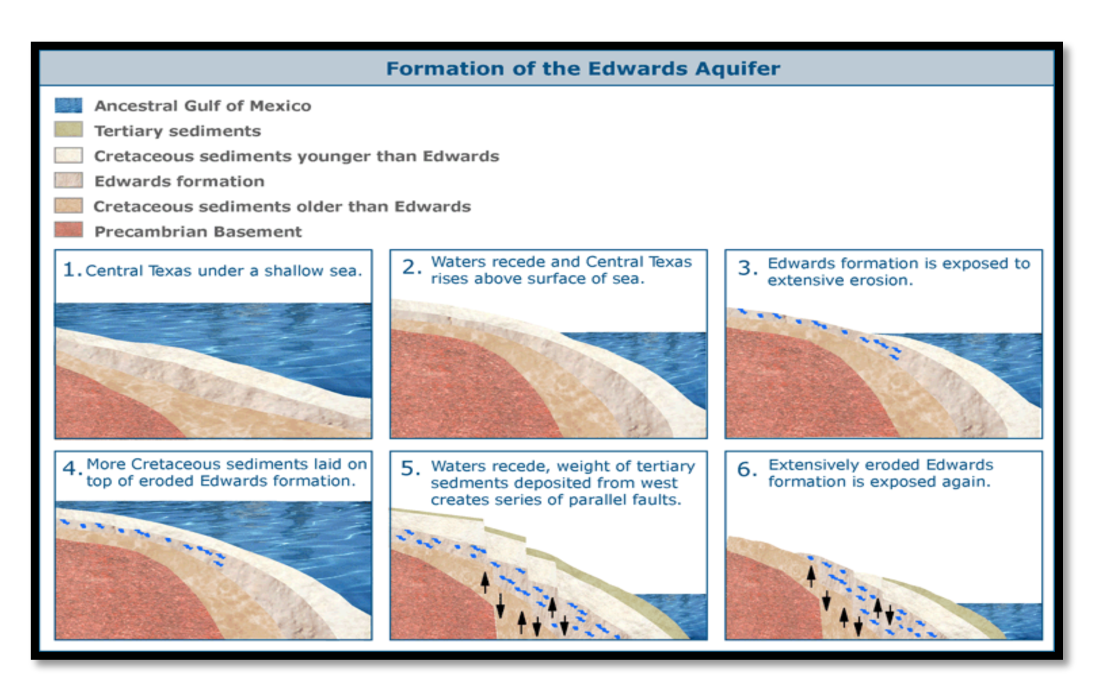
٦- الخزان الجوفي الجاثم :

وهو خزان اضافي يتواجد في مستوى اعلى من مستوى الماء الجوفي أي في نطاق التشبع المتغير وتكون كميته قليلة وتكون بصورة استثنائية بسبب اعتراض طبقة صماء له .

٧- الخزان الجوفي الحفري :

وهو الخزان الجوفي غير المتجدد ويقع عادة على اعماق كبيرة جدا وهي مياه تراكمت منذ زمن بعيد تحت ظروف مختلفة عن الظروف السائدة الآن والمياه المستهلكة لايمكن تعويضها .



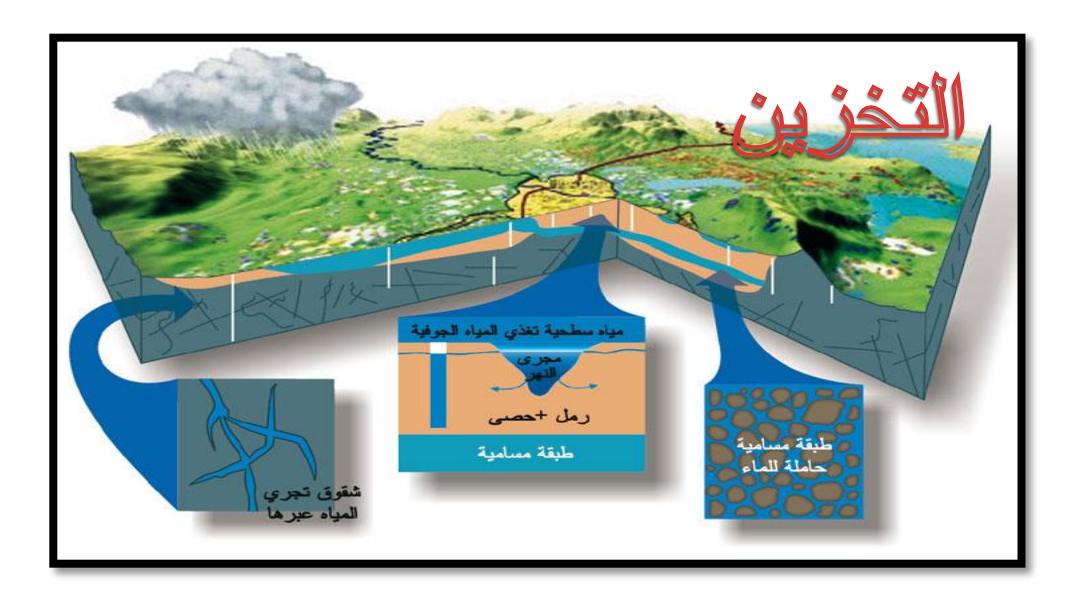


خصائص الخزانات الجوفية:

يقوم الخزان الجوفي بوظيفتين ضروريتين إحداهما تخزينية والأخرى توصيلية حيث تعمل الفتحات الموجودة في الطبقة الحاملة للمياه كفراغات لتخزين المياه وفي نفس الوقت تعمل كشبكة من الأنابيب لإمرار هذه المياه ويعتمد قيام الخزان الجوفي بهاتين الوظيفتين على عدد من الخواص الهامة وهي:

التخزين:

ترتبط الوظيفة التخزينية للخزان الجوفي بخاصتين هامتين وهما المسامية (Porosity) والإنتاج النوعي (Specific Yield). و المسامية هي ذلك الحيز من حجم المادة الصخرية الذي تشغله الفتحات البينية (Voids) ويعبر عنها بالنسبة المئوية من الحجم الكلي للمادة الصخرية ويسمي معامل المسامية ويدل على حجم المياه الجوفية التي يمكن تخزينها ولكنه لا يدل إطلاقاً على حجم المياه التي يمكن استخلاصها من تلك المادة.

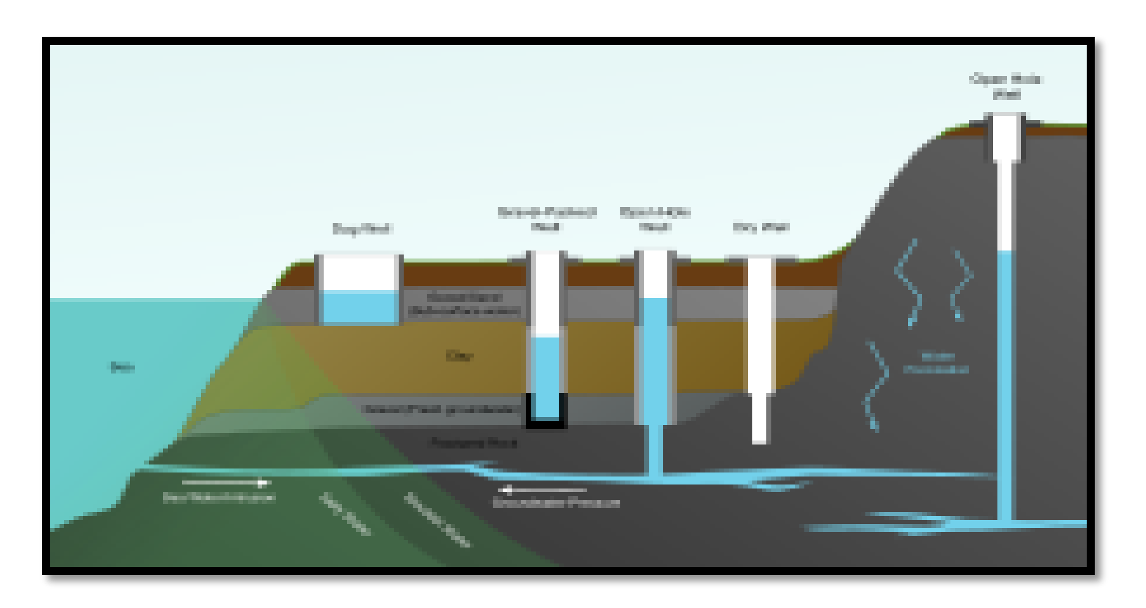


التوصيل المائى:

تسمي خاصية الخزان الجوفي المتعلقة بوظيفته التوصيلية بالتوصل المائي أو الهيدروليكي ويرمز لها بالرمز (K) وتعرف بأنها قدرة المادة المسامية على إمرار الماء وقديماً كانت تسمي هذه الخاصية بالنفاذية (Permeability) ويُفضل استخدام مصطلح التوصيل المائي والذي يعتمد على حجم وشكل ودرجة اتصال الفراغات البينية في المادة الصخرية وكذلك على الخواص الطبيعية للمياه مثل الكثافة واللزوجة ونظراً لأن هذه الخواص تختلف باختلاف حرارة الماء فإنه ينبغي تحديد التوصيل المائي عند درجة حرارة معينة.

تداخل مياه البحر:

ظاهرة تداخل المياه المالحة من الظواهر المألوفة في المناطق الساحلية وتحدث عند تواجد صخور ذات نفاذية عالية مع وجود انحدار مائي نحو اليابسة ويمكن وقف تداخل وطغيان مياه البحر المالحة وحماية المياه الجوفية من التلوث بالحفاظ على منسة ب المياه الجوفية في مستوى فوق مستوى سطح البحر وذلك عن طريق حفر البئر إلي عمق مناسب والتحكم في كمية المياه المسحوبة من الآبار.



صورة توضح تداخل مياه البحر أو المحيطات إلى المياه الجوفية

طبقات المياه الجوفية:

إن **الطبقة الجوفية** (طبقة المياه الجوفية) طبقة رطبة من صخور نفاذية محملة بالمياه أو من مواد غير مجمعة (حصى أو رمل أو الطمي) موجودة تحت سطح الأرض ويمكن أن تستخرج منها مياه جوفية باستخدام بئر ماء للاستفادة منها، وتسمى دراسة سريان المياه في الطبقات الجوفية وتكون الطبقات الجوفية بالجيولوجية المائية (الهيدروجيولوجيا)، وتشمل المصطلحات ذات الصلة مصطلح **الطبقة المائية المعيقة** – طبقة أرضية رقيقة ومنخفضة النفاذية وممتدة على طول الطبقة الجوفية – [١] ومصطلح **الطبقة الكتيمة** – منطقة صلبة كتيمة (غير منفذة للماء) موجودة تحت الطبقة الجوفية أو فوقها، وإذا امتدت المنطقة غيرالمنفذة فوق الطبقة الجوفية فقد يجعلها الضغط تصبح طبقة جوفية محصورة.

مقطع عرضي نموذجي لطبقة جوفية

عمق الطبقة الجوفية:

يمكن أن تتكون الطبقات الجوفية عند أعماق مختلفة، وليس مرجحا أن تستخدم الطبقات الأقرب إلى سطح الأرض للإمداد بالمياه والري فقط بل إنها أيضا تمتلئ بالأمطار الموضعية، وتوجد في العديد من المناطق الصحراوية أو قربها تلال من صخور كلسية أو جبال من صخور كلسية يمكن استغلالها كموارد للمياه الجوفية، كما توجد طبقات جوفية ضحلة مستغلة لوجود المياه فيها في أجزاء من جبال الأطلس في شمال أفريقيا، وجبل لبنان وسلسلة جبال لبنان الشرقية [أو جبال القلمون] الممتدة في سوريا ومرتفعات الجولان السورية التي تحتل إسرائيل جزءا منها ولبنان، والجبل الأخضر (عمان) في عمان، وأجزاء من سلسلة جبال سييرا نيفادا وسلاسل مجاورة في الولايات المتحدة الجنوبية الغربية، ويمكن أن يؤدي فرط الاستغلال إلى تجاوز الإنتاج العملي الدائم للمياه، أي أن المياه التي تؤخذ أكثر من التي يمكن أن تمتلئ مرة أخرى، ولقد أدى نمو التعداد السكاني على امتداد خطوط سواحل بلدان معينة – مثل ليبيا وإسرائيل – إلى انفجار سكاني سبب انخفاض مستوى المياه وما يتبعه من اختلاط المياه الجوفية بمياه مالحة قادمة من البحر (تداخل (تسرب) المياه المالحة).

و يقدم الشاطئ نموذجا يساعد على تصوير الطبقة الجوفية، فإذا حفرت حفرة في الرمل فإن الرمل شديد الرطوبة أو المشبع بالماء سيتجمع في العمق الضحل، وهذه الحفرة هي البئر ويمثل الرمل الرطب الطبقة الجوفية كما يمثل المستوى الذي ترتفع إليه المياه في هذه الحفرة مستوى المياه الجوفية.

التصنيف:

الطبقات الجوفية والطبقات المعيقة:

الطبقات الجوفية: وهي عادة ما تكون مناطق مشبعة من الطبقة تحت السطحية وتنتج كمية مناسبة اقتصاديا من المياه لبئر أو ينبوع (مثال: عادة ما يشكل الرمل والحصى أو صخر اللأديم المتكسر موادا جيدة للطبقة الجوفية).

الطبقة المعيقة: وهي منطقة داخل الأرض تحصر تدفق المياه الجوفية من طبقة جوفية إلى أخرى، ويمكن أن تسمى الطبقة المعيقة في بعض الأحيان – إذا كانت غير منفذة تماما – **بالطبقة الكتيمة**، وتتألف الطبقات المعيقة إما من طبقات من صلصال أو صخر غير مسامي ذات موصلية مائية منخفضة.

ففي المناطق الجبلية (أو بالقرب من الأنهار في المناطق الجبلية) عادة ما تكون الطبقات الجوفية الرئيسية من الطمي غير المدمج، الذي يتكون في الغالب من طبقات عرضية من مواد مترسبة بفعل حركات المياه (الأنهار والجداول) التي تظهر في مقطع عرضي (بالنظر إلى شريحة ثنائية الأبعاد للطبقة الجوفية) على أنها طبقات متناوبة من المواد الغليظة والدقيقة، وتوجد المواد الغليظة قرب المصدر (واجهات الجبال أو الأنهار) – وذلك بسبب الطاقة العالية الضرورية لتحريكها – بينما تبتعد المواد ذات الحبيبات الدقيقة عن المصدر (تصل إلى الأجزاء المسطحة من حوض النهر أو مناطق فوق ضفته – وتسمى في بعض الأحيان منطقة الضغط)، وبما أن هناك رواسب قليلة ذات حبيبات دقيقة قرب المصدر فإن هذا مكان تكون فيه الطبقات الجوفية غير محصورة عادة (و تسمى في بعض الأحيان مناطق الحوز الأمامي) أو في اتصال سائلي مع سطح الأرض.

الطبقة المحصورة والطبقة غير المحصورة:

هناك عنصران طرفيان في سلسلة أنواع الطبقات الجوفية وهما:

الطبقة المحصورة والطبقة غير المحصورة **(و توجد طبقة شبه محصورة بينهما).**

وأيضا تسمى الطبقات غير المحصورة: في بعض الأحيان *بمستوى المياه الجوفية* أو *الطبقة الجوفية الباطنية*، وذلك لأن حدها الأعلى هو مستوى المياه الجوفية أو سطح المياه الباطنية، ، وعادة ما تكون الطبقة الجوفية الأكثر ضحالة غير محصورة عند موقع معين، مما يعني أنها لا تملك أي طبقة حاجزة (طبقة معيقة أو طبقة كتيمة) بينها وبين السطح، ويشير مصطلح "جاثمة" إلى مياه جوفية متراكمة فوق وحدة قليلة النفاذية أو طبقات قليلة النفاذية، مثل: طبقة الصلصال، ويستخدم هذا المصطلح بشكل عام ليشير إلى منطقة موضعية من المياه الجوفية التي تتكون عند

ارتفاع أعلى من الطبقة الجوفية الإقليمية والواسعة النطاق، والفرق بين الطبقات الجوفية الجاثمة والطبقة الجوفية غير المحصورة هو أحجامها (الطبقة الجاثمة أصغر).

و إذا كان التمييز بين الطبقة المحصورة وغير المحصورة ليس واضحا جيولوجيا (أي: إذا لم يعرف ما إذا كانت الطبقة الحاجزة موجودة أو إذا كانت الجيولوجيا أكثر تعقيدا، مثل: طبقة جوفية من صخر الأديم) فإن قيمة معامل التخزين الناتجة عن اختبار الطبقة الجوفية يمكن أن تستخدم لتعيينها (مع أن اختبارات الطبقات الجوفية في الطبقات غير المحصورة يجب أن تفسر بشكل مختلف عن اختبارات الطبقات المحصورة)، فالطبقات الجوفية المحصورة تملك قيم معامل تخزين منخفضة جدا (أقل بكثير من ٠,٠١ وبقدر ١٠-٥) مما يعني أن الطبقة الجوفية تخزن المياه باستخدام آليات تمدد وطاء [مادة بينية] الطبقة الجوفية وقابلية انضغاط المياه وعادة ما يكون كلاهما كميات صغيرة جدا. بينما تملك الطبقات الجوفية غير المحصورة معاملات تخزين (عادة ما تسمى في هذه الحالة بالإنتاج النوعي) أكبر من ٠,٠١ (١% من معظم الكمية) وهي تطلق المياه من المخزن باستخدام آلية التصريف الفعلي للمياه من مسام الطبقة الجوفية أو إطلاق كميات كبيرة نسبيا من المياه (تصل إلى مسامية مواد الطبقة الجوفية القابلة للتصريف أو الحد الأدنى للمحتوى المائي الحجمي).

المياه الجوفية فى التكوينات الصخرية:



وتنقسم الصخور على أساس علاقتها بحركة المياه الباطنية إلى نوعين رئيسيين:

١ـ صخور منفذة للمياه: تسمح بأن تغور مياه الأمطار في باطن الأرض عن طريق الفراغات البينية التي توجد بين جزيئات الصخر، أو خلال الشقوق والمفاصل والفجوات التي توجد به.

٢ـ صخور غير منفذة للمياه: ولا تسمح بتسرب مياه الأمطار ونفاذها إلى باطن الأرض، إما لأنها غير مسامية، أو لعدم وجود الشقوق والمفاصل بها، أو لتعرض المياه التي توجد في

الفراغات الواقعة بين جزيئاتها للتجمد (كما هي الحال في الأقاليم القطبية) مما لا يسمح بنفاذ الماء وتسربه.

فكأن خاصية إنفاذ المياه تتوقف على شروط عديدة غير شرط مسامية الصخر (التي يقصد بها كبر الفراغات البينية التي توجد بين جزيئاته. أو غلظ وخشونة المواد التي يتألف منها الصخر وقلة إلتحامها) ومن هذه الشروط، وجود الشقوق والمفاصل والفجوات بصورة ملحوظة، بالصخور المنفذة ، كما يجب ألا تتجمد المياه التي تملأ الفراعات البينية التي توجد بين جزيئات الصخر، لأن هذا التجمد لابد أن يجعلها غير منفذة للمياه حتى ولو تميزت هذه الصخور بمساميتها وكثرة تشققها، فكأ، هنالك فرقاً كبيراً بين مسامية الصخر ودرجة إنفاذه للمياه، فصخر الجرانيت مثلاً، صخر غير مسامي ولكن مياه الأمطار تتسرب وتغور فيه بسهولة وذلك لكثرة شقوقه ومفاصله. كما أن بعض أنواع من الصخور الطينية التي تتألف من جزيئات دقيقة ناعمة تفصلها عن بعضها البعض فراغات بينية صغيرة ودقيقة، يمكن أن تدرج في قائمة الصخور المسامية، إلا أن كثرة المسام لا تسمح بنفاذ المياه وتسربها وخصوصاً إذا ما إمتلأت الفراغات البينية بالمياه، فكأن الصلصال يستطيع أن يحتفظ بالمياه ولكنه نادراً ما يسمح بنفاذها خلاله.

وتعرف الطبقة التي تنفذ خلالها المياه، والتي تستطيع إختزان هذه المياه إذا كانت ترتكز فوق طبقة أخرى غير منفذة لها، بخزان الماء الجوفي . فلابد إذن، لكي تتحول أي طبقة منفذة للمياه، إلى خزان للمياه الجوفية، فلابد من أن تمتد أسفلها طبقة أخرى صماء أو غير منفذة للمياه، إلى خزان للمياه الجوفية أو غير منفذة للماء تحول دون تسرب مياهها إلى باطن الأرض. ومع أننا كثيراً ما نلاحظ أن بعض الماء الذي تحتويه الطبقة الصخرية المنفذة للمياه، يعود إلى سطح الأرض مرة ثانية بواسطة القوة الشعرية (وخصوصاً في الأقاليم الجافة)، أو بما تمتصه جذور النبات، إلا أن جزءاً عظيماً من مياه هذه الطبقة يبقى فيها ويتغلغل في باطنها، ويقوم بدور هام في تشكيل قشرة الأرض.

يمكن أن توجد المياه الجوفية في *الأنهار الموجودة تحت الأرض* (مثل: الكهوف حيث تتدفق المياه بحرية تحت سطح الأرض)، وقد تتكون في مناطق الأحجار الجيرية المتآكلة المعروفة باسم الطبوغرافية الكارستية التي تشكل نسبة صغيرة فقط من الأرض، ومن المعتاد أن تكون الحيزات المسامية الخاصة بالصخور الموجودة في الطبقة التحت سطحية مشبعة– مثل إسفنجه المطبخ – بالمياه التي يمكن ضخها خارجا لاستخدامات زراعية أو صناعية أو بلدية.

و إذا كانت الوحدة الصخرية ذات المسامية المنخفضة متكسرة جدا فسيمكنها أيضا تكوين طبقة جوفية جيدة (بواسطة التدفق عبر الشق) شريطة أن يملك الصخر موصلية مائية جيدة لتسهيل حركة المياه، والمسامية مهمة ولكنها لا تحدد – *وحدها* – قدرة الصخر على أن يكون طبقة جوفية، وتمثل مناطق مصاطب الدكن (حمم بازلتية) الواقعة في جنوب الهند مثلة جيدة على تكوينات صخرية ذات مسامية مرتفعة لكنها ذات نفاذية منخفضة، مما يجعلها طبقات جوفية فقيرة، وبالمثل فإن الطبشور الدقيق المسام (الطباشيري الأعلى) الواقع شرق إنجلترا يملك نفاذية حبيبية منخفضة – مع أنه يملك مسامية عالية معقولة – مع العديد من خصائص الإنتاج المائي الموجودة نتيجة للتكسر الدقيق والتشقق.

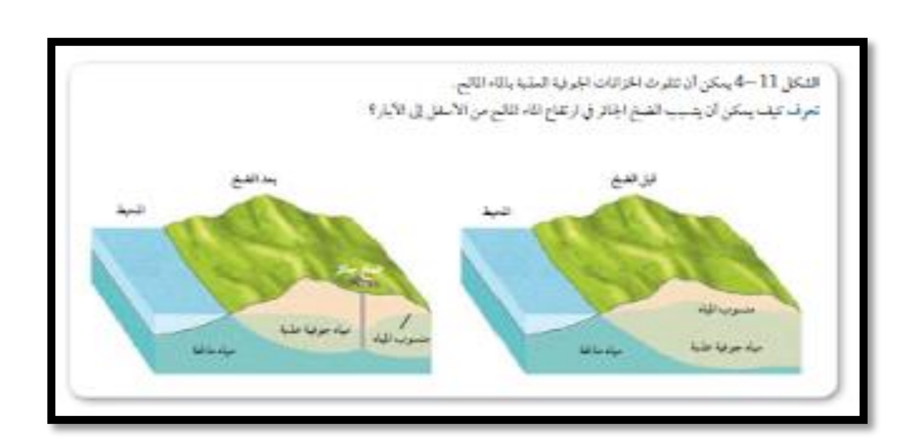
الهبوط:

تنتج المياه الجوفية في الطبقات الجوفية غير المدمجة من فراغات مسامية بين جزيئات الحصى والرمل والطمي، فإذا كانت الطبقة الجوفية محصورة بطبقات منخفضة النفاذية فسيسبب ضغط المياه المخفض في الرمل والحصى تصريفا بطيئا للمياه من الطبقات الحاجزة المتجاورة، وإذا كانت هذه الطبقات الحاجزة مكونة من طمي أو صلصال قابل للانضغاط فإن فقدان المياه إلى الطبقة الجوفية يقلل ضغط المياه في الطبقة الحاجزة، مما يسبب انضغاطها نتيجة لوزن المواد الجيولوجية الفوقية، وفي الحالات الحرجة يمكن ملاحظة هذا الضغط على سطح الأرض كهبوط، وللأسف فإن الكثير من الهبوط الناتج عن استخراج المياه الجوفية يكون دائما (الارتداد المرن ضعيف)، وبالتالي فإن الهبوط ليس دائما فقط بل إن الطبقات الجوفية المضغوطة تملك قدرة دائمة الانخفاض على الاحتفاظ بالمياه.

تسرب المياه المالحة (تداخل المياه المالحة):

تحتوي الطبقات الجوفية التي تقع قرب الساحل على عدسات من المياه العذبة تقع قرب السطح وتكون أكثف من مياه البحر الموجودة تحت المياه العذبة، وتخترق مياه البحر القادمة الطبقة الجوفية من جهة المحيط وتنتشر فيها وهي أكثف من المياه العذبة، أما بالنسبة للطبقات الجوفية المسامية (أي: الرملية) الموجودة قرب الساحل فإن ارتفاع المياه العذبة الموجودة فوق المياه المالحة يبلغ حوالي ٤٠ قدما (١٢ م) لكل ١ قدم (٠,٣٠ م) من المياه العذبة المرتفعة عن مستوى البحر، وتسمى هذه العلاقة بمعادلة غيبن وهيرزبيرغ (Ghyben – Herzberg equation)، وفي حال ضخت كميات كبيرة جدا من المياه الجوفية قرب الساحل فقد تتسرب المياه المالحة إلى طبقات المياه الجوفية العذبة مسببة تلوث إمدادات المياه العذبة الصالحة للشرب، ولدى العديد من الطبقات الجوفية – مثل طبقة بيسكين الجوفية الموجودة قرب الطبقات الجوفية الساحلية والعادية في ميامي ونيوجرسي – مشاكل مع تسرب المياه المالحة كنتيجة للضخ الفائض.

التملح:



الشكل 11–4 يمكن أن تتلوث الخزانات الجوفية العذبة بالماء المالح.
تعرف كيف يمكن أن يتسبب الضخ الجائر في ارتفاع الماء المالح من الأسفل إلى الآبار؟

إن كل من طبقات المياه الجوفية الموجودة في المناطق السطحية المروية شبه القاحلة وإعادة استخدام مياه الري الحتمية الفقدان والمتخللة (الراشحة) إلى الأسفل تحت سطح الأرض عبر الري التكميلي من الآبار يزيدان من خطر التملح.

و عادة ما تحتوي مياه الري السطحية على أملاح بحدود ٠,٥ غرام/ لتر أو أكثر كم أن احتياج الري السنوي بحدود ١٠٠٠٠ م٣/هكتار أو أكثر وبذلك يكون وارد الملح السنوي بحدود ٥٠٠٠ كغ/هكتار أو أكثر.

و قد يرتفع تركيز الملح في مياه الطبقة الجوفية باستمرار تحت تأثير التبخر المستمر مسببا مشاكل بيئية تدريجيا.

و للتحكم في الملوحة في مثل هذه الحالة تطلق كمية من مياه التصريف سنويا من الطبقة الجوفية عبر وسائل نظام تصريف تحت سطحي ويتخلص منها عبر منفذ آمن، كما قد يكون نظام التصريف *أفقيا* (أي: استخدام أنابيب أو مصارف مغطاة أو أخاديد) أو *عموديا* (التصريف باستخدام الآبار)، ولتقدير احتياج التصريف فقد يكون استخدام نموذج المياه الجوفية ومركب ملوحة المياه والتربة آليا، مثل: برنامج سايزمود (SahysMod).

التأثيرات المناخية الناتجة عن نضوب الطبقات الجوفية:

يزيد كل من انخفاض الطبقة الجوفية أو السحب الزائد منها وضخ المياه الأحفورية من كمية المياه الكلية في الغلاف المائي الخاضع للنتح والتبخر وذلك يسبب تراكم بخار الماء وغطاء الغيوم اللذان هما الماصان الرئيسيان للأشعة تحت الحمراء في غلاف الأرض الجوي، ولإضافة المياه إلى هذا النظام تأثير إجباري على كامل نظام الأرض ولم يحدد بعد تقييم دقيق لهذه الحقيقة الهيدروجيولوجية.

- العمل الجيولوجي للمياه الجوفية :

المياه الجوفية تلعب دورا هاما من ناحية النشاط الكيميائي أما النشاط الميكانيكئ فهو ضعيف جدا إذا ما قورن بنشاط المياه الجوفية الكيميائي والذي يشكل ثلاث عمليات : الذوبان - الإحلال – الترسيب .

أ – مظاهر جيولوجية ناتجة عن الذوبان :

تعمل المياه الجوفية في المناطق المغطاة بصخور معرضة للتجوية الكيميائية على تكون معالم أرضية مميزة تعتبر من أكثر معالم القشرة الأرضية جمالاً وروعة. ونعرض هنا بعضا من هذه المعالم.

تقوم المياه الأرضية بإذابة الصخور الجيرية ويساعدها على ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون المذاب فيها ، إذ تعمل على تحويل كربونات الكالسيوم إلى كربونات كالسيوم هيدروجينية القابلة للذوبان في الماء ويتكون لذلك الكهوف وكثيرا ما تنهار أو تهبط الطبقات الصخرية فوق الكهف مكونة الحفر الغائرة .

عندما تصل مياه الأمطار إلي سطح الأرض تبدأ في التفاعل مع المعادن في الحطام الصخري (الأديم) وصخور الأساس وتعمل على تجويتها كيميائياً. ومن العمليات المهمة المترتبة على تلك التجوية الكيميائية ذوبان المعادن والصخور في السوائل المارة خلالها. وتعتبر الصخور الكربوناتية أكثر صخور القشرة الأرضية قابلية للتأثر بهذه العملية. وصخور الحجر الجيري وحجر الدولوميت والرخام هى أكثر صخور الكربونات شيوعاً، حيث تغطي ملايين الكيلومترات المربعة من سطح الأرض. وبالرغم من أن معادن الكربونات تكون غير قابلة للذوبان تقريباً في المياه النقية، إلا أنها تذوب بسهولة في حامض الكربونيك الذائب في ماء المطر المتخلل. ونتيجة لذلك، فإن المياه الجوفية تصبح محملة بكاتيونات الكالسيوم وأنيونات البيكربونات. وتحدث التجوية أساساً على امتداد الفواصل والكسور الأخرى في صخور الأساس الكربوناتية، حيث تكون النتيجة مؤثرة. وقد تؤدي تجوية الحجر الجيري إلي أن تذوب تماما وينتقل إلي المياه الجوفية المتحركة ببطء.

وقد قدر الجيولوجيون المعدل الذي تنخفض به طوبوغرافية الصخور الكربوناتية نتيجة الذوبان، فوجدوا أنها تنخفض بمعدل يصل إلي ١٠مم/١٠٠٠ سنة في المناطق المعتدلة التي تتساقط فيها الأمطار بمعدل عال وتتميز بمنسوب ماء جوفي مرتفع مع غطاء دائم تقريباً من النباتات. وتكون هذه المعدلات منخفضة جداً في المناطق الجافة التي تندر فيها الأمطار، ويكون منسوب الماء الجوفي فيها منخفضا، والغطاء النباتي غير دائم.

ب – مظاهر جيولوجية ناتجة عن عملية الإحلال :

التلاحم والإحلال الكيميائي:

إن تحول الرواسب إلي صخر رسوبي يكون أساساً نتيجة عمل المياه الجوفية. ومثلما تكون الرواسب المتواجدة تحت البحر مشبعة عموماً بالماء، كذلك تكون الرواسب المتواجدة في نطاق التشبع تحت سطح الأرض. وتترسب المواد الذائبة في الماء كمادة لاحمة في الفراغات بين حبيبات الصخور وحبيبات المعادن في الرواسب. وكما أوضحنا في فصل الصخور الرسوبية، فإن هذه العملية تسمى عملية ما بعد الترسيب diagenesis وهى تحول الرواسب المفككة إلي صخر متماسك. ويعتبر الكالسيت والكوارتز ومركبات الحديد (أساساً هيدروكسيدات مثل الليمونيت) مواد لاحمة أساسية.

والعملية الأقل شيوعاً من ترسيب المادة اللاحمة بين حبيبات الرواسب هى عملية الإحلال replacement، وهى العملية التي يذيب فيها السائل المادة الموجودة وقت الإحلال ويرسب من

المحلول في الوقت نفسه حجما مساويا من مادة مختلفة. ومن الواضح أن عملية الإحلال تحدث على أساس إحلال حجم ما مكان حجم آخر مساو، حيث تحفظ المادة الجديدة أدق أنسجة المادة التي تم إذابتها وإحلالها. ويمكن أن يتم إحلال كل من المواد المعدنية والعضوية، فالخشب المتحجر petrified wood هو أشهر أمثلة إحلال المادة العضوية .

تعمل المياه الأرضية الحاملة للأملاح المذابة أثناء مرورها على بقايا المواد العضوية المدفونة في الصخور ، على إحلال المادة المعدنية التي تحملها محل المواد العضوية وبذلك تتحجر هذه البقايا لتكون ما تعرف بالأحافير أو الأخشاب المتحجرة .

ج – مظاهر جيولوجية ناتجة عن عملية الترسيب :

الكهوف والمغارات الكربوناتية :

جذبت الكهوف caves اهتمام الناس منذ أمد طويل. وتعتبر كهوف الحجر الجيري في أوروبا وآسيا من أقدم الشواهد على إقامة إنسان العصر الحجري القديم في الكهوف خلال أزمنة البليستوسين الجليدية، حيث كانت حوائط هذه الكهوف محل فحص دقيق من المختصين والمهتمين بعصور ما قبل التاريخ.

وتأخذ الكهوف عدة أحجام وأشكال. وعلى الرغم من أن معظم الكهوف تكون صغيرة، إلا أن بعضها يكون ذا أحجام استثنائية. ويسمى الكهف الكبير جدا أو المكون من عدة حجرات كهفية متصلة ببعضها بالمغارة cavern. وتضم مغارات كارلسباد في نيومكسيكو حجرة واحدة يبلغ طولها ١٢٠٠م وعرضها ١٩٠م وارتفاعها ١٠٠م. ويتكون كهف ماموث في كنتكي من عدة مغارات متصلة يبلغ طولها الإجمالي حوالي ٤٨كم على الأقل.

يتكون الكهف نتيجة لعملية كيميائية أساسا تتضمن إذابة صخر كربوناتي بالمياه الجوفية المتخللة والغنية بثاني أكسيد الكربون . وكما رأينا عند دراستنا للصخور الرسوبية، فإن معدل إذابة الحجر الجيري يزداد نتيجة وجود ثاني أكسيد كربون الغلاف الجوي الذائب في مياه الأمطار. وقد تلتقط المياه المتسربة في التربة المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من جذور النباتات والبكتريا والكائنات العضوية المتواجدة في التربة. وعندما ينتقل هذا الماء الغني بثاني أكسيد الكربون لأسفل إلي منسوب الماء الجوفي عبر نطاق عدم التشبع إلي نطاق التشبع، فإنه يؤدي إلي تكون فجوات نتيجة إذابة المعادن الكربوناتية. ويزيد اتساع تلك الفجوات بذوبان الحجر الجيري على امتداد الفواصل والكسور لتتكون شبكة من الحجرات والممرت. وتكون هذه الشبكات أكثر ما يكون في نطاق التشبع، حيث تكون الكهوف ممتلئة بالماء وتتم الإذابة على جميع الأسطح بما فيها الأرضيات والحوائط والأسقف. وقد قدر الزمن الذي يستغرقه تكون ممر متصل بالمياه المتخللة البطيئة بحوالي ١٠٠٠٠ سنة، بينما يستغرق زيادة اتساع الممر بالماء المناسب بسرعة في نظام من الكهوف من ١٠٠٠٠ إلي مليون سنة إضافية.

وعلى الرغم من الاعتقاد بأن تكون الكهوف يتضمن عموماً الإذابة بواسطة حامض الكربونيك، إلا أن بعض الدراسات تقترح أن بعض الكهوف بما فيها مغارات كارلسباد Carlsbad caverns قد تتكون نتيجة الإذابة بحامض الكبريتيك، حيث افترض أن السوائل التي تحتوي على كبريتيد الهيدروجين والمستمدة من رواسب غنية بالبترول تصعد على امتداد الفواصل لتقابل وتتفاعل مع الماء المحمل بالأكسجين لتكون حامض الكبريتيك الذي يذيب الحجر الجيري.



شكل الكارست او التخسفات الارضية من تأثير المياه الجوفية

د – رواسب الكهوف :

يمكن للجيولوجيين الآن استكشاف الكهوف التي أذيبت يوما ما تحت منسوب الماء الجوفي، ولكنها توجد الآن في نطاق عدم التشبع نتيجة انخفاض مستوى الماء الجوفي. ففي هذه الكهوف، قد تتساقط من السقف قطرات من ماء مشبع بكربونات الكالسيوم. وعندما تتسرب كل نقطة من الماء من سقف الكهف، فإن بعضا من ثاني أكسيد الكربون الذائب والذي تم التقاطه عند تسرب الماء في التربة سوف يتبخر ليهرب إلي هواء الكهف. وعندما يحدث هذا، فإن كربونات الكالسيوم الموجودة في الماء الجوفي تصبح أقل ذوبانا، ليترسب من كل نقطة صغيرة كمية ضئيلة من كربونات الكالسيوم على السقف. وتتراكم هذه القطرات الصغيرة على هيئة مخروط أو أسطوانة كربوناتية تسمى هابط stalactite تتدلى من سقف الكهف . وعندما تقع بقية النقطة على أرضية الكهف، فإن المزيد من ثاني أكسيد الكربون يهرب وتترسب كمية صغيرة أخرى من كربونات الكالسيوم على أرضية الكهف أسفل الهابط. وتتجمع هذه الرواسب أيضاً مكونة الصاعد stalagmite. وأخيراً، فقد ينمو الصاعد والهابط مع بعضهما ليكونا عموداً واحداً.

في حالات كثيرة تقوم المياه الأرضية بترسيب المواد المعدنية الذائبة فيها حبيبات الصخر وتكون النتيجة :

- تماسك الصخر كما في تكوين الحجر الرملي الحديدي أو الحجر الرملي السيليسي .
- تقوم المياه الأرضية بترسيب ما تحمله من مواد معدنية في الشقوق والفجوات الكبيرة في الصخور مكونة العروق المعدنية والتي لها أهمية اقتصادية .
- عندما يتخلل الماء الأرضي المشبع بيكربونات الكالسيوم بفعل حرارة جو الكهف إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وكربونات كاليسيوم وماء ، فتترسب كربونات الكالسيوم قبل أن تسقط القطرات من سقف الكهوف مكونة نموا بارزا من السقف وتسمى الهوابط .
- وإذا سقطت القطرات على أرضية الكهف تترسب كربونات الكالسيوم على شكل أعمدة نحو الأعلى تعرف باسم الصواعد .كما هو الحال في مغارة جعيتا في لبنان .

الكهوف : هو مكان مجوّف من الدّاخل وله فتحة من الأمام ويمكن للإنسان دخوله .

تتكوّن الكهوف من عمليّات جيولوجيّة وهي :

١. القوة التكتونيّة .
٢. المياه وعوامل التعرية النّاتجة منها .
٣.التّفاعلات الكيميائيّة بين الصّخور .
٤. الأحياء الدقيقة .

كيف تتكون الكهوف؟

تتكوّن الكهوف عادةً جرّاء عمليّة الإذابة التي تحدث للصخور نتيجة العوامل البيئيّة المختلفة ، فعند هطول الأمطار تتجمّع المياه الجوفيّة في باطن الأرض وتقوم هذه المياه بعمل ممرّات ومجاري على شكل أنهار وأودية وتؤدّي إلى تكوّن الكهوف ، وتختلف أحجام الكهوف فهي متفاوته الأحجام : منها من هو متصل ببعض ، منها من هو على شكل غرف منفصلة ومنها على شكل حفر إبتلاعية .

ومن الجدير بالذّكر أنّ أغلب الكهوف تكون من الحجر الجيري ، إذ تقوم مياه الأمطار بإذابة تلك الصّخور نتيجة احتوائها على محلول حمضي من ثاني أكسيد الكربون نتيجة أختلاط مياه الأمطار بالأتربةوالجو ، وتسمّى المناطق التي تتواجد فيها الكهوف بشكل كثير باسم (الكارستيه).



<u>طريقه تكوّن الكهوف</u>: إذ تقوم هذه المياه بالتغلّل داخل الصّخور لعمل فجوات صغيرة بين تلك الصّخور ومن ثم يقل مستوى المياه الجوفيّة تدريجياً ليعود و يمتلئ الكهف بالهواء بدل الماء.

مكوّنات الكهوف :بعد عمليّة ذوبان الصّخور يصبح الكهف فارغاً ، بعد ذلك يبدأ هطول الأمطار من جديد حيث تتكوّن قطرات صغيرة من على سقف الكهف وتقوم بالتنقيط البطيء ومع دخول الهواء إلى الكهف الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون يقوم بتركيز مادة الكالسيت التي تتجمّع على شكل حلقات تحيط حولها القطرات المائيّة ، ثم يزداد نمو هذه الحلقات بشكل أكبر فيزداد حجمها وطولها ولا تتوقّف إلا إذا قمنا بإغلاق الفتحة الأماميّة لها ، ويسمّى هذا العمود المدلّى من سقف الكهف (الماصّه)أو الهوابط . أمّا الصواعد فتتكوّن نتيجة قطرات الماء المتدليّة من السقف إلى أرض الكهف ، ومع مرور الزمن يزداد تساقط هذه المياه وبشكل مبعثر ويؤدّي هذا إلى تراكم الرّواسب الجيريّة وتتركّب مكوّنة الصّواعد ، وعند نقطة إلتقاء الهوابط والصواعد مع بعضها البعض في الكهف تتشكّل الأعمدة.

<u>ه – الحفرة البالوعية :</u>

تعرف الحفرة البالوعية sinkhole بأنها منخفض دائري صغير وعميق في سطح الأرض فوق صخور كربوناتية بها الكثير من الكهوف . وتقاس الحفر البالوعية بالأمتار أو بعشرات الأمتار، وهى تشبه القمع في العادة. وتتكون الحفر البالوعية نتيجة إذابة وانهيار أسقف كهوف الحجر الجيري، بينما يتكون بعضها الآخر عند سطح الأرض، حيث يكون الماء الذائب به ثاني أكسيد كربون حديثاً ومؤثراً كمذيب للمواد الكربوناتية. ويوجد عديد من الحفر البالوعية عند تقاطع الفواصل حيث يتحرك الماء لأسفل بسرعة أكبر، وتتكون بذلك حفر بالوعية تشبه القمع.



تحطم الممتلكات بسبب الحفرة البالوعية المنهارة

و – طوبوغرافية الكارست :

تكثر الكهوف والحفر الوعائية في المناطق التي تكون الصخور فيها قابلة للذوبان، لدرجة أنها تكون مظاهر طوبوغرافية خاصة بها.وتتميز هذه الطوبوغرافية بوجود أحواض عديدة صغيرة ومتقاربة ونمط صرف ممزق، كما تختفي المجاري المائية في هذه المناطق لتعود للظهور في أماكن أخرى على هيئة ينابيع كبيرة. وتسمى المنطقة المميزة بهذه المعالم بطوبوغرافية الكارست karst topography نسبة إلي منطقة في الأجزاء الشمالية من يوغوسلافيا سابقاً، والتي تتميز بطوبوغرافية غير منتظمة من التلال والعديد من الحفر البالوعية . وعلى الرغم من أن طوبوغرافية الكارست تميز المناطق الكربوناتية، إلا أن الكارست يمكن أن يتكون أيضاً في مناطق تتكون من الجبس والملح.

الكارست يتكون أكثر ما يكون فى المناطق التى تتميز بثلاث خصائص:

١ – مناخ يتميز بوفرة الأمطار وارتفاع درجة الحرارة بدرجة تساعد على الذوبان مع وجود غطاء نباتي كثيف (لتتكون مياه غنية بثاني أكسيد الكربون).

٢ – متكونات حجر جيري به عديد من الفواصل.

٣ – انحدار هيدروليكي مناسب يسمح بانسياب المياه الجوفية خلال الصخور القابلة للذوبان.

ـ الماء الموجود في أعماق القشرة الأرضية :
تكون كل الصخور الموجودة تحت منسوب الماء الجوفي مشبعة بالماء. وكما ذكرنا سابقاً، فإن الجيولوجيين يجدون الماء في المتكونات المنفذة الموجودة حتى في أعمق الآبار التي تحفر للبحث عن البترول، على أعماق تصل إلي حوالي ٨ أو ٩ كيلومتر من سطح الأرض. ويتحرك الماء عند هذه الأعماق ببطء، ربما بمعدل أقل من سنتيمتر في العام. ولذلك فإنه يكون هناك متسع من الوقت لإذابة المعادن، حتى تلك الشحيحة الذوبان منها، أثناء تخلل الماء في الصخور. وتصبح المواد المذابة في تلك المياه أعلى تركيزاً من المياه الموجودة قرب السطح، مما يجعل المياه الموجودة عند الأعماق الكبيرة غير صالحة للشرب. فعلى سبيل المثال، فإن المياه الجوفية التي تتخلل طبقات الملح القابلة للذوبان بسرعة تميل لأن تصبح غنية بكلوريد الصوديوم بدرجة كبيرة.

وتوجد صخور القاعدة النارية والمتحولة عند أعماق أكبر تتراوح بين ١٢ إلي ١٥ كيلو متر تحت المكونات الرسوبية الموجودة في الجزء العلوي من القشرة الأرضية. وتقل المسامية والنفاذية بدرجة كبيرة في صخور القاعدة النارية والمتحولة، وبالتالي تكون كمية الماء في تلك الصخور صغيرة للغاية.

أ – المياه الحرمائية :
توجد الينابيع الحارة الطبيعية في يلوستون ناشيونال بارك Yellowstone National Park في شمال غرب الولايات المتحدة وفي أركانساس وريكجافيك javik Reyk في أيسلنده، وفي مناطق أخرى عديدة من العالم. وتهاجر المياه الحرمائية hydrothermal solutions (المياه الساخنة في القشرة الأرضية) في مثل هذه المناطق بسرعة لأعلى لتنبثق عند سطح الأرض دون أن تفقد الكثير من الحرارة، وتصل أحيانا إلي درجة حرارة الغليان.

وتتحمل المياه الحرمائية بالمواد الكيميائية التي تذاب من الصخور عند درجات الحرارة العالية. ويمكن أن تبقى المواد المذابة في المحلول طالما بقيت المياه ساخنة. ولكن بمجرد أن تصل المياه الحرمائية إلي سطح الرض فإنها تبرد بسرعة وترسب مختلف المعادن مثل الأوبال (أحد أشكال السيليكا) والكالسيت أو الأراجونيت (أشكال بلورية لكربونات الكالسيوم). كما تتكون قشرة من كربونات الكالسيوم عند بعض الينابيع الحارة والتي تكون صخر الترافرتين travertine، وهو صخر جيري دقيق التبلور أبيض أو كريمي اللون يستخدم أحيانا كصخر مصقول في أعمال البناء. وتكون المياه الحرمائية مسئولة عن ترسيب عديد من الخامات الفلزية في العالم عندما تهاجر هذه المحاليل في القشرة الأرضية ثم تبرد. والمصدر الأساسي لمعظم المياه الحرمائية في القارات هو المياه السطحية التي تخللت إلي المناطق العميقة من القشرة الأرضية. وقد تكون بعض المياه الجوية قديمة جدا، حيث قدر أن المياه المستمدة من الأمطار والجليد في هوت سبرنج بولاية أركانساس Hot Springs Arkansas قد سقطت منذ أكثر من ٤٠٠ سنة مضت، وأنها تسربت ببطء إلي الأرض. والمصدر الآخر للمياه الحرمائية هو الماء الهارب من الصهارة. ففي مناطق النشاط الناري تتسرب المياه الجوية في الأرض وتقابل كتلا من الصخور الساخنة لتصبح ساخنة ثم تختلط .

بالماء المنطلق من الصهارة القريبة، ثم يعود خليط الماء الحرمائي حينئذ إلي سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة hot springs أو فوارات (جيزارات) geysers. فبينما تنساب الينابيع الحارة باستمرار، فإن الفوارات (الجيزارات) تخرج منها المياه الساخنة والبخار بصورة متقطعة.

عمل الماء الجوفي الساخن، والذي يوجد على بعد مئات الأمتار تحت سطح الأرض. ومن المحتمل أن الفوارات تكون متصلة بالسطح بنظام من الكسور غير المنتظمة والمنحنية وبتجاويف وفتحات، عكس الينابيع الحارة التي تنبثق مباشرة وبنظام أكثر انتظاما إلي السطح. النظرية التي تشرح الخروج المتقطع للفوارات.

وتنشأ بعض الينابيع الحارة الأخرى من الماء الجوي الذي تحرك لأسفل في مكونات الصخور الرسوبية العميقة، حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة ارتفاع درجة الحرارة طبيعيا مع العمق نتيجة ضغط بخار الماء المتجمع، ثم تعود على هيئة مياه حرمائية إلي السطح. وقد نشأ عديد من الخامات الفلزية ورواسب معدنية أخرى في الصخور الرسوبية بعيدا عن أي نشاط ناري.

كما استخدم الجيولوجيون المياه الحرمائية كمصادر جديدة ونظيفة للطاقة، حيث استخدام البخار الناتج عن النشاط الحرمائي في الينابيع الحارة والفوارات (الجيزارات) في كل من شمال كاليفورنيا وأيسلندة وإيطاليا ونيوزيلنده لإدارة التوربينات المولدة للكهرباء. وعلى الرغم من أهمية المياه الحرمائية في توليد الطاقة وفي احتوائها على الخامات المعدنية وفي الاستشفاء، إلا أن هذه المياه لا تساهم في إمداداتالمياه السطحية بسبب احتوائها على الكثير من المواد الذائبة. ويلاحظ أن صخور الأوليجوسين بمنطقة الجبل الأحمر والمناطق المحيطة به في شرق القاهرة تحتوي على الكثير من الفوارات (الجيزارات) المتحجرة.

تلوث المياه الجوفية:



إن المياه الجوفية تتعرّض اليوم للعديد من المشاكل التي تتهدّدها بشكل جذريّ ورئيسيّ، ومن أبرز هذه المشاكل مشكلة تعرّضها للتلوث، والملوثات، لذا فقد كان من الضروري أن يكون هناك نوع من الإيضاح لبعض أبرز أسباب تلوث المياه الجوفية بالملوثات، وجعلها غير صالحة للاستعمال البشري، وفيما يلي التفاصيل:

أسباب تلوث المياه الجوفية:

- تواجد الآبار الجوفية بالقرب من مجاري الفيضانات، والسيول المختلفة، ممّا يؤدّي إلى تعريضها لخطر التلوّث بالملوّثات التي تحملها هذه الملوثات معها.
- وجود الاختلالات في تصميم آبار المياه الجوفية، بالإضافة إلى عدم الاعتناء الكامل بعزل بعض الآبار التي تعتبر مهجورة إلى حد ما؛ ممّا يسمح للموثات المختلفة المدفونة في باطن الأرض بالوصول إلى المياه الموجودة في مثل هذه الآبار وتلويثها، وإفسادها.
- تواجد خطوط وآبار المجاري الصحيّة، بالإضافة إلى آبار البالوعات بالقرب من مصادر المياه الجوفية، ممّا يسبب تلوث هذه المياه عن طريقة عدّة احتمالات مختلفة.
- التخلص السلبيّ من أنواع النفايات، والقاذورات، والمياه العادمة التي تنتج إما عن الاستهلاك الإنسانيّ، أو الحيوانيّ، أو الصناعيّ، أو الزراعيّ، مما يسبب حالة التلوّث هذه التي تقضي بشكل نهائيّ على المياه الجوفية.
- التلوّث من خلال ما يعرف بتداخل مياه البحر، حيث تحدث هذه الظاهرة عندما تكون الآبار الجوفيّة قريبة إلى حد ما من المسطحات المائية الكبيرة كالبحار، والمحيطات، خاصة مع وجود صخور لها نفاذية مرتفعة إلى حد ما مما يسمح بوصول المياه المالحة إلى المياه الجوفية وتلويثها.
- تلوث المياه الجوفية بمادة الزرنيخ، حيث يعتبر هذا التلوث من أخطر أنواع التلوثات على الإطلاق؛ ذلك أنّ تسرّب مادة الزرنيخ إلى المياه الجوفية يتسبب بانتشار أنواع السرطانات المختلفة بين الناس، عدا عن تسببه بأمراض القلب، بالإضافة إلى العديد من الأمراض الأخرى.



و تتعرض الطبقات السطحية الحاملة للمياه للتلوث بدرجة كبيرة وكلما كان مستوى الماء في تلك الطبقات قريب من سطح الأرض كلما إزدادت قابليتها للتلوث. وقد تنتقل البكتيريا إلي طبقات أعمق خاصة إذا كانت المواد الصخرية المكونة لتلك الطبقات عالية المسامية والنفاذية. ولحماية آبار المياه فإنه ينبغي أن تحدد مواقعها بعيداً عن مصادر التلوث ويراعي عند تصميمها وانشائها الحماية الصحية اللازمة.

يعود تلوث المياه الجوفية لمصدرين أساسيين هما: التلوث الطبيعي الناتج عن انحلال مكونات الصخور من الفلزات المكونة لصخور الخزان الجوفي، **وتلوث صناعي** ناتج عن نشاطات الإنسان كافة التي تسيء لنوعية المياه، فالنشاط الزراعي وما يسفر عن استخداماته للأسمدة والمبيدات الحشرية وكذلك مخلفات الحيوانات تتسرب عبر مياه الصرف الزراعي إلى المياه الجوفية.

أما مخلفات النشاطات الصناعية المسببة لتلوث المياه الجوفية منها ملوثات السيانيد الناتجة عن صناعات التعدين والورق، والزئبق الناتج عن صناعات الأجهزة الكهربائية وكذلك المواد الصلبة الناتجة عن الصناعات البتروكيمائية. يضاف إليها مخلفات مياه الصرف المنزلي التي أغلب ملوثاتها من الكبريتات، الكلوريدات، النترات، والفينولات حيث تعمل على خفض قيمة الطلب الكيماوي والحيوي للأوكسجين في المياه.

وبالنظر لمحدودية القدرة الذاتية للتنقية في المياه الجوفية للتقليل من الآثار السلبية للتأثيرات السمية للملوثات المختلفة، فإن تأثيراتها السرطانية على الإنسان والحيوان تبدو جلية. وتؤشر تلك الملوثات لمدى تلوث المياه المترسبة نحو الخزان الجوفي، وكذلك لمدى هشاشة قوام التربة أعلى منطقة الخزان الجوفي التي تمتاز بالنفوذية العالية التي تسمح لمرور الملوثات عبرها دون أن تخفف من تأثيراتها بالعمليات الحيوية في النطاقين غير المشبع والمشبع.

كما أن الاستخدام الجائر لمياه الخزانات الجوفية يؤدي لتلوثها بالأملاح نتيجة تداخل مياه البحار مع مياه الخزان الجوفي، ويسبب التلوث البيولوجي الناتج عن البكتريا المرضية والأحياء العضوية الدقيقة التي تنتج مواد كيماوية سامة بالإضافة إلى الفيروسات والبكتريا الممرضة الناتجة عن مخلفات الإنسان المختلطة مع مياه الصرف المنزلي.

أما أسباب التلوث الإشعاعي في المياه الجوفية فيعود للراديوم الناتج عن ذوبان مكونات صخور الخزان الجوفي، والرادون ٢٢٢ الذي يعتبر شديد الذوبان في الماء. وهناك النويدات المشعة الناتجة عن تحلل اليورانيوم والثوريوم والصخور الغرانيتية والرسوبية التي تنتج مواد مشعة حيث يرجع تشكل الصخور الرسوبية للدور الكريتاسي المتآخر الغني باليورانيوم، والمنتشرة على رقعة واسعة من شمالي أفريقيا والشرق الأوسط.

وتسبب التراكيز العالية لليورانيوم والرادون والراديوم في مياه الشرب طفرات جينية وولادات مشوهة وأمراض سرطانية خطيرة للإنسان. يضاف إلى ذلك الملوثات الإشعاعية الناتجة عن عمليات الانشطار النووي لإنتاج اليورانيوم أو مخلفات معالجة الوقود النووي في محطات الطاقة النووية، وكذلك ملوثات الاستخدام الإشعاعية في المختبرات الطبية. ومعظمها يحتاج لمئات السنيين لينعدم تأثيرها السلبي على حياة الإنسان.

ويمكن إجمال العوامل الأساسية والثانوية المساهمة في عملية تلوث المياه الجوفية بـ : التغذية المائية، خصائص التربة، مميزات النطاق غير المشبع والمشبع، طبيعية الصخور المكونة للخزان الجوفي، شدة الجفاف ومدته، درجات الحرارة والرطوبة، التلوث العابر للحدود، قرب أو بعد الخزان الجوفي عن مصادر المياه العذبة أو المالحة، ودرجة استنزاف مياه الخزان الجوفي.
إن طبوغرافية التربة أعلى منطقة الخزان الجوفي لها دور كبير في تخفيف أو زيادة التلوث في المياه الجوفية، فالقدرة الذاتية للتربة على تنقية المياه المتسربة من الملوثات متعلقة بنوعية التربة. فهناك ترب ذات تنقية عالية تسهم (بشكل كبير) في تنقية المياه من ملوثاتها قبل وصولها للمياه الجوفية، وترب ذات تنقية متوسطة تسمح لحد ما لمرور بعض الملوثات إلى المياه الجوفية. وترب ذات تنقية متدنية (خاصة التربة الغضارية) حيث تسمح للملوثات للنفاذ من خلالها إلى المياه الجوفية.

وتتعلق القدرة الذاتية للتربة على التنقية على خصائصها (القوام، السماكة، النفاذية، التراص، النوعية -غضارية أو عضوية، خشنة، وناعمة) التي تسمح أو تعيق حركة الملوثات نحو المياه الجوفية. وهي المحددة لسرعة وصولها إلى الخزانات الجوفية.

يتطلب تقييم إمكانية تخفيف التلوث في المياه الجوفية النظر لمكونات التربة أعلى منطقة الخزان الجوفي ومدى قدرتها على إزالة بعض الملوثات أو التقليل من تركيزها (التنقية الذاتية للتربة) المتمثلة بقدرة نظام المياه الجوفية والأوساط التي تعلوه على الادمصاص والتشتت والإعاقة، وتأخير حركة الملوثات من خلال جملة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تعمل وتنشط في نظام (التربة، الصخور، والمياه الجوفية). وهناك تباين في هذه العمليات وشدتها تحت سطح الأرض، ففي نطاق الجذور تتحطم كميات ملموسة من الكيميائيات بواسطة العضويات الدقيقة أو بالعمليات الكيميائية والفيزيائية حيث تمتصها النباتات. أما النطاق غير المشبع فإنه يلعب دوراً مهماً في تأخير وصول الملوثات إلى الخزان الجوفي، نتيجة عمليات الانحلال وتحديد المحاليل والتشتت (التبعثر) الهيدروديناميكي ذو الفاعلية العالية .

أ – كيميائية المياه الجوفية :

تظهر تحاليل عديد من الآبار والينابيع أن المركبات الذائبة في الماء الجوفي هى أساسا كلوريدات وكبريتات وبيكربونات لعناصر الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والحديد. وترجع آثار هذه المواد إلي المعادن الشائعة في الصخور والتي تم تجويتها. ويتغير تركيب المياه الجوفية

كما هو متوقع، من مكان لآخر، حسب نوعية الصخر الذي يتواجد به الماء. ففي وسط الولايات المتحدة الأمريكية يكون معظم الماء غنيا ببيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم والتي أذيبت من صخور الحجر الجيري وحجر الدولوميت في تلك المناطق. وعند استخدام مثل هذا الماء، والذي يسمى ماءا عسرا hard water فإنه لا يكون رغوة مع الصابون بسهولة، بينما يكون قشوراً في الغلايات عندما يتبخر منها، كما قد تتكون مثل هذه القشور في أنابيب المياه، مما يقلل في النهاية من انسياب الماء. وعلى عكس الماء العسر، فإن الماء الذي يحتوي على القليل من المواد المذابة وكذلك القليل من الكالسيوم يسمى ماءً يسراً soft water، وهو ماء يكون رغوة مع الصابون العادي بسهولة. ويتواجد مثل هذا الماء في وادي النيل والدلتا حيث تكثر الصخور البركانية وصخور الجريواكي في مناطق منابع النيل.

ويذيب الماء الجوفي عناصر ضارة بالصحة من الصخور التي ينساب خلالها مما يجعل الماء غير مناسب للاستهلاك الآدمي. فالماء الذي يتخلل صخوراً غنية في الكبريت قد يحتوي على كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والذي يجعل له رائحة مثل رائحة البيض الفاسد، على الرغم من أنه غير ضار صحيا. وفي بعض المناطق القاحلة، فإن تركيز الكبريتات والكلوريد المذابة قد يكون عاليا لدرجة أن الماء الجوفي يكون ضارا بالصحة. وفي المناطق الجافة (القاحلة) يذيب الماء الجوفي المتحرك في صخور رسوبية مسامية الأملاح التي تترسب نتيجة بخر الماء في نطاق التهوية، مما يؤدي إلي تكون تربة مالحة غير صالحة للزراعة.

ب – التلوث بمخلفات المجاري :

تعتبر مخلفات المجاري أكثر مصادر تلوث المياه الجوفية شيوعا. ويؤدي التسرب من خزانات المجاري وشبكاتها غير المحكمة، وإلقاء المخلفات في المناطق المفتوحة إلي تلوث المياه الجوفية. وعند مرور المياه الملوثة ببكتريا مخلفات المجاري على صخر أو راسب ذي مسام كبيرة مثل جرول خشن أو حجر جيري به كثير من الفجوات البينية الواسعة فإن الماء يتخلل بها لمسافات كبيرة ولكنه يبقى ملوثاً . ومن ناحية أخرى، فإن الماء الملوث إذا تخلل في رمل أو حجر رملي منفذ، فإنه قد ينقي خلال مسافة قصيرة، قد تصل في بعض الأحيان إلي أقل من ٣٠ متراً من موقع حدوث التلوث. ويعتبر الرمل عامل تنقية مناسب حيث ينقي الماء من خلال :

(١) الترشيح ميكانيكيا، حيث يتم التخلص من معظم البكتريا عند مرور الماء في الرمل.
(٢) أكسدة البكتريا بحيث تصبح غير ضارة.
(٣) يؤدي تلامس البكتريا مع كائنات عضوية أخرى إلي التهام البكتريا. ولذلك، فإن مشروعات تنقية مصادر المياه ومخلفات المجاري تعتمد على تخلل هذه السوائل في الرمل.

ج – النفايات السامة والسموم الزراعية:

تلقي في كل عام كميات ضخمة من النفايات البشرية والصناعية في أماكن مفتوحة أو تدفن تحت سطح الأرض بتلك الأماكن التي يطلق عليها المرادم البرية landfill. وعندما يمتلئ هذا المردم

البري، فإنه يغطي بالأوساخ، وتتسرب مياه الأمطار في رواسب المردم، فتتحرك وتنتقل العديد من نواتج هذه النفايات تحت سطح الأرض، حيث تحمل المياه المواد الذائبة بعيداً . وبهذه الطريقة، فإن الكيماويات السامة ترشح ببطء لتدخل مكامن المياه الجوفية وتلوثها، مما يجعل هذه المياه غير مناسبة للاستخدام الآدمي. وتنتقل الملوثات من هذه المواقع على هيئة تيارات من الماء الملوث في اتجاهات تعتمد أساساً على نمط الانسياب الإقليمي للماء الجوفي لتنتشر بمعدل انتشار المياه المتخللة نفسه. وغالباً ما تكون هذه الملوثات سامة للإنسان والنباتات والحيوانات أيضاً. وقد أصبحت مشكلات التلوث في مواقع النفايات المطمورة (المرادم البرية) خطيرة لدرجة أن عديداً من الحكومات بدأت برامج طويلة الأمد لتنظيف هذه المواقع حتى تصبح آمنة بيئياً.

وترش الحقول بالكثير من المبيدات لمقاومة الحشرات والطحالب لتحسين نوعية الإنتاج. وقد ارتبطت بعض هذه الكيماويات بالأمراض الخبيثة والتخلف العقلي في الإنسان، كما أدى بعضها إلي نقص أعداد الحيونات البرية، حيث حدث أيضاً انخفاض كبير في أعداد طائر "أبو قردان" نتيجة رش المبيدات في مصر. وتصل هذه الكيماويات السامة إلي المياه الجوفية بسبب الأسلوب الذي ترش به هذه المبيدات على مساحات شاسعة.

د – تخزين النفايات الخطرة تحت الأرض :

إن أحد المشاكل البيئية التي تقلق الدول الصناعية، ضرورة التعامل مع المخلفات الصناعية شديدة السمية. ويؤدي الطمر (الدفن) السطحي السريع إلي تلوث مصادر المياه السطحية وتحت السطحية، وبالتالي إمكانية حدوث مشكلات صحية خطيرة. كما أن الدول ذات الإمكانات النووية لها مشاكلها الخاصة بالتخلص من نواتج النفايات ذات الإشعاع العالي الدرجة. فبعض النظائر مثل Sr٩٠ و١٣٧ Ce تكون مشعة بدرجة عالية لدرجة أن أي كمية ضئيلة منها يمكن أن تسبب وفاة الناس إذا تركزت في البيئات السطحية.

وقد توصلت معظم الدراسات الخاصة بالتخلص من النفايات السامة – سواء السامة أو المشعة – إلي أن التخزين تحت الأرض يكون مناسباً عند وجود أماكن آمنة. فالشرط الأساسي في حالة النفايات المشعة بدرجة عالية والتي يمكن أن تبقى خطيرة لعشرات أو مئات أو آلاف السنين بسبب فترة نصف – العمر الطويل لبعض النظائر المشعة، أن يكون الموقع مستقراً على مدى زمني طويل. لذلك، فإن المناطق الآمنة تماماً للتخلص من النفايات المشعة والحاويات التي توضع فيها تلك النفايات هى المناطق التي لا تتأثر كيميائياً بالمياه الجوفية، كما لا تتأثر طبيعياً بالزلازل أو بالنشاط البشري.

وهناك اتفاق عام بين الجيولوجين على أن تخزين النفايات المشعة تحت الأرض لابد أن يخضع للشروط التالية:

١ – يجب أن تكون نفاذية الصخور منخفضة أو منعدمة، وأن تكون الكسور بها قليلة أو منعدمة.
٢ – يجب ألا تكون هناك إمكانية لتواجد خامات معدنية ذات قيمة اقتصادية في الصخر الحاوي سواء حاليا أو مستقبلا.
٣ – يجب أن يكون انسياب الماء الجوفي المحلي بعيداً عن الغلاف الحيوي.

٤ – يجب أن تكون كمية الأمطار المتساقطة قليلة.
٥ – يجب أن يكون نطاق التهوية سميكا.
٦– يجب أن يكون معدل التعرية بطيئا جداً.
٧– يجب أن يكون احتمال النشاط الزلزالي أو البركاني منخفضا جداً.

ويمثل التخزين الآمن لفترة طويلة تحت الأرض تحديا كبيراً للجيولوجيين، حيث درس الجيولوجيون الأحداث الماضية، وهم مطالبون الآن بالتنبؤ بأحداث المستقبل الممكنة. ويتطلب ذلك معرفة جيدة بمدى استجابة أنظمة الماء الجوفي المعقدة لحركات القشرة والتغيرات المناخية المحلية والعالمية والعوامل الطبيعية الأخرى التي يمكن أن تؤثر على استقرار موقع التخزين.



يمكن ان تنتشر الملوثات بسرعة خلال الخزان المائي.

استكشاف المياه الجوفية:

يمر أستكشاف المياة الجوفية بمراحل:

١ـ مرحلة البحث التمهيدى (أستكشاف أقليمى) :

تجرى لتكوين فكرة عن الظروف الجيولوجية و الهيدرولوجية للمنطقة و تعتمد على تجميع و دراسة أى دراسات سابقة للمنطقة و ما جاورها من الناحية الطبوغرافية و الجيولوجية و الجيومورفولوجية و البيدولوجية و الجيوفيزيائية و المناخية و تواجدات المياة السطحية.

٢ - *مرحلة الدراسات المبدئية:*

دراسات حقلية و معملية يصاحبها حفر آبار قليلة أو متوسطة العمق مع أجراء ضخ تقريبى لمعرفة التركيب الجيولوجى و عمل تحليل كيميائى للمياة و تنتهى هذة الدراسات الى رسم خرائط هيدروجيولوجية بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠ أو ١:٢٠٠٠٠٠ و أحيانا تكون بقياس رسم ١:٥٠٠٠٠٠) أى أن كل ١ سنتيمتر على الخريطة يمثل ٥٠٠٠٠٠ سنتيمتر (نصف كيلومتر) على الطبيعة .

٣-مرحلة الدراسات التفصيلية:

تجرى لمساحات محدودة ثبت أهميتها فى الدراسات المبدئية . يتم فيها زيادة كمية الدراسات و التجارب تبعا لغرض الدراسة و طبيعة المنطقة . ينتج عن الدراسة خرائط هيروجيولوجية بمقياس رسم ١:٥٠٠٠٠ أو ١:٢٥٠٠٠ أو ١:١٠٠٠٠ أو ١:٥٠٠٠ و ذلك على حسب كمية الدراسات التى تتم. الخرائط الهيدروجيولوجية تحدد أمتداد و عمق و سمك و خواص الطبقة الحاملة للمياة و ظروفها الهيدروجيولوجية و أنتاجيتها كما تحدد خطوط كنتور سطح المياة أو المستوى البيزومترى لها و كذلك نوعية المياة الجوفية و أيضا توقع على الخريطة تواجدات المياة السطحية من أنهار و نهيرات و ترع و مصارف و بحيرات تؤثر فى تغذية الماء الجوفى.

أنواع الدراسات المستخدمة فى أستكشاف المياة الجوفية :

١- دراسات سطحية :

و تنقسم الى:
***دراسات مناخية :** كمية المطر - كمية البخرنتح - درجات الحرارة - الضغط الجوى - الرطوبة الجوية و يتم عمل خرائط بذلك و يتم حساب الموازنة المائية.

***دراسات طبوغرافية :** تمهد للدراسات الجيولوجية التى تمهد للدراسات الهيدروجيولوجية . تتم الدراسة الطبوغرافية بأعمال المساحة و الصور الجوية و صور الأقمار الصناعية وبال gis نظو المعلومات الجغرافية التى تتم بالأتصال بالأقمار الصناعية.

***دراسات جيولوجية سطحية** : هى أولى خطوات الدراسة المبدئية و هى الأساس الذى تبنى علية الدراسة التفصيلية . معرفة ترسيب و تأكل الطبقات و تركيبها الجيولوجى يؤدى لأستنتاج أمتداد الطبقة الحاملة للمياة و يساعد فى تكوين صورة عن الخواص الليثلوجية للطبقات و بالتالى تحديد أحتمال تكوين المياة بتلك الطبقات و تحديد نوعية المياة مبدئيا كما يمكن تحديد المناطق التى يمكن تدفق المياة منها أرتوازيا دون الحاجة لمضخات . الدراسة الأستراتيجرافية و دراسة التاريخ الجيولوجى يساعد فى أكتشاف خزانات أرتوازية على أعماق معينة . تقوم المساحة الجيولوجية برسم خرائط جيولوجية للمنطقة و أيضا قطاعات جيولوجية.

٢- دراسات تحت سطحية :

تتم هذة الدراسات من على سطح الأرض و من خلال آبار أختبارية يتم حفرها و هى تبدأ مع بداية عملية الحفر بفحص ناتج حفر طبقات الأرض أولا بأول و تنقسم تلك الدراسات الى:

- دراسات جيولوجية تحت سطحية .
- دراسات جيوفيزيائية .
- دراسات هيرولوجية .

-الدراسات الجيولوجية تحت السطحية:

تتم على فتات الصخور المحفورة على كل عمق ١ 2- أو ٣ - ٥ متر و تتم على عينات أسطوانية تؤخذ على حسب الحاجة أليها و هذة الدراسات تنتهى الى رسم خرائط ليثولوجية تحت سطحية تبين التكوين الليثولوجى لطبقات الأعمار الجيولوجية المختلفة و رسم خرائط تركيبية كنتورية تبين تضاريس و أنكسارات و ألتواءات الطبقات مختلفة الأعمار و رسم خرائط سمك الطبقات خاصة الحاملة للمياة و العازلة و رسم خرائط السمك الصافى لطبقة الرمال و الحجر الرملى و رسم خرائط جيولوجية تركيبية للقاع الصخرى أسفل الطبقات الرسوبية و غالبا يكون من صخور نارية أو متحولة و ترسم هذة الخريطة بمقارنة المسح الجيوفيزيائى مع تحليل عينات ناتج حفر الآبار الأختبارية .

-الدراسات الجيوفيزيائية :

تدرس الخواص الطبيعية للصخور مثل الكثافة و المغناطيسية و المرونة و الخواص الأشعاعية و درجة مقاومة التيار الكهربى و درجة توصيل الصوت و خلافة .و هى تنقسم الى قسمين:

أ-مسح جيوفيزيائى:
يجرى فوق سطح الأرض لأختبار الطبقات التى فى الأعماق و هو ينقسم الى أربعة طرق :

١-طرق سيزمولوجية :

بطريقة الموجات المنعكسة و طريقة الموجات المنكسرة لمعرفة شكل و عمق الطبقات و الطريقة تزداد أهميتها فى التنقيب عن النفط .

٢-طرق مغناطيسية :

أعتمادا على الخواص المغناطيسية للخر يتم رصد الأنحراف المغناطيسى من على سطح الأرض أو من طائرة تطير على ألارتفاع منخفض لتحديد شكل الطبقات و معرفة التركيب المعدنى للصخور .

٣-طرق الجاذبية الأرضية :

تعتمد الطرق الجرافيمترية هذة على تعيين وزن كتلة معينة بدقة فى نقاط مختلفة على الأرض و هى تفيد فى حساب سمك الطبقات الرسوبية .

الطرق المغناطيسية و الطرق الجرافيمترية أستخدمتا فى تحديد شكل القاع الصخرى لمنطقة الوادى الجديد بالصحراء الغربية لمصر . هذة الطرق من المسح تعتبر طرق غير مباشرة.

٤ -طرق كهربية :

هذه هى أهم طرق الدراسة الجيوفيزيائية الأربعة . تعتمد الطريقة على أختلاف المقاومة الكهربية للصخور تبعا لنوعها و كثافتها و حجم و شكل مسام الصخور . تفيد هذة الطريقة غى تحديد مواقع ينابيع المياة المعدنية و تحديد عمق المياة الجوفية حرة السطح و تحديد مناطق المياة العذبة داخل المناطق المشبعة بالمياة المالحة خاصة فى المناطق الجافة و مثال ذلك ما تم فعلا لتحديد عدسات المياة العذبة العائمة على طبقات المياة المالحة فى كل من الساحل الشمالى الغربى و سيناء بمصر كما تفيد الطرق الكهربية فى تحديد المناطق عالية النفاذية خاصة فى طبقات الحصى و الرمل و كذلك تستخدم لتحديد سمك طبقات الحصى و الرمل الحاملة للماء الجوفى و أيضا تستخدم الطرق الكهربية لتحديد عمق و وضع الطبقات ذات التشقاقات العالية لأهميتها كمناطق ذات أحتمالت مائية كبيرة .

ب-رصد جيوفيزيائى داخل الآبار و يجرى داخل الآبار بعد حفرها و يتم بعدة طرق:

الرصد الكهربى فى الآبار:

بطريقة رصد الجهد التلقائى فى الآبار المغلفة أو بطريقة رصد المقاومة الكهربية فى الآبار الغير مغلفة و تفيد فى دراسة تتابع الصخور (ليثولوجى) و التمييز بين الطبقات الحاملة للماء العذب و الماء المالح التى يخترقها البئر و تحديد عمق المناطق المبطنة بالقواسين (المغلفة) من البئر و كذلك تحديد عمق الجزء المتآكل أو المنهار من القواسين كما يمكن تحديد المقاومة النوعية للطبقات التى يخترقها البئر . و توجد طريقة للرصد الدقيق جدا بالميكرولوج و خصائصة تحديد سمك الطبقات التى يخترقها البئر خاصة الطبقات دقيقة السمك و تحديد الحدود بين الطبقات حتى بين الطبقات دقيقة السمك و تحديد المسامية و النفاذية لطبقات الأرض و تحديد الفجوات داخل البئر و هذة الطريقة شائع الأعتماد عليها و يمكن بواستطها قياس أى تغيير بسيط فى قطر البئر يصل الى نصف ملليمتر (٠,١٢٥ بوصة).

الرصد الأشعاعى داخل الآبار و ينقسم لنوعين اساسين:

رصد أشعة جاما : تنبعث طبيعيا من الصخور و تستعمل هذة الطريقة لتحديد طبقات الطفلة التى يصعبتمييزها و تحديد سمكها حتى لو كانت مالحة .

الرصد النيوتروني: يتم بقذف الصخور بالنيوترونات . و تستعمل فى تحديد الطبقات فى الأبار المغلفة و الغير مغلفة و هى الأدق فى تحديد مسامية الصخور و تفيد فى تحديد الطبقات المتماسكة و المضغوطة و معرفة الجزء من البئر المغلف بالمصافى ذات الفتحات .

الرصد الحرارى داخل البئر: عامة ترتفع درجة الحرارة ١ درجة مؤية مع كل ٣٠ متر (١٠٠ قدم) عمق لكن نوع الصخور يؤثر و وجود ماء أو غاز يخفض درجة الحرار عن معدلة أو يرتفع نتيجة تفاعلات نارية جوفية .

يستعمل الرصد الحرارى فى مقارنة نتائجة مع نتائج الرصد الكهربى و يمكنة تحديد أرتفاع الأسمنت لو وضع فى البئر و يمكنةتحديد مناطق فقد محلول الطفلة المستخدم مع الحفارات الرحوية.

رصد قطر البئر و يتم بجهاز معاييرة (كاليبر) يركب مع الميكرولوج المستخدم للرصد الكهربى و يستخدم فى التقدير الدقيق للتغيير فى قطر البئر على الأعماق المختلفة و معرفة بيانات الطبقات على حسب طريقة الحفر حبث يزيد قطر الحفر فى الطبقات غير المتماسكة عند أستخدام حفارات روية بينما يزيد هذا القطر عند أستخدام الحفار الدقاق لو وجدت طبقة صلبة أسفل الطبقة الغير متماسكة و يتساوى قطر الحفر طبقا لقطر بنطة الحفر فى الطبقات الصلبة عامة .

-الدراسات الهيدرو جيولوجية :

تتم على آبار أختبارية تحفر خصيصا و على الآبار الأنتاجية الموجودة بالمنطقة و هى تنقسم لقسمين :

أ -دراسات هيدروجيولوجية أثناء الحفر و تدرس الظواهر الأتية:

ظهور و ثبات سطح المياة فى البئر : و تسهل معرفة الوصول لسطح الماء عند أستخدام محلول الطفلة (يستخدم مع الحفارات الرحوية لتشحيم و تبريد أجزاء الحفر و تدعيم جدران البئر و المساعد فى نزح ناتج الحفر و هو يدفع فى دورة من فوق سطح الأرض و يعود لدفعة مرة أخرى و تكون لة لزوجة تضبط معمليا) كما يمكن تحديد سمك طبقة الماء التى يخترقها البئر حيث تقل خلالها لزوجة محلول الطفلة و يخرج مختلطا بالمياة و لو كانت الطبقة تحمل ماء أرتوازى ضغطة عالى فقد يحدث أندفاع لمحلول الطفلة الى خارج البئر و فى هذة الحالة يقاس مستوى سطح المياة بالمانومتر) المانومتر هو جهاز قياس الضغط و الآبار الحبيسة و شبة الحبيسة يكون لها مستوى بيزومترى حيث يرتفع مستوى الماء داخل البئر و قد يكون الضغط البيزومترى كافى لضخ الماء من البئر بدون الحاجة لمضخة.

درجة فقدان محلول الطفلة فى البئر: .لها دلالات على الطبقات التى يخترقها الحفر. ملاحظة درجة حرارة و كيميائية محلول الطفلة .عند أختراق البئر للماء تنخفض درجة حرارة

محلول الطفلة و يجب أختبارها مرة كل ٣٠ دقيقة من الحفر أما كيميائيا فتختبر دوريا عينات من المحلول فى معمل حقلى بسيط فى منطقة الحفر.

ملاحظة الهبوط المفاجئ لعمود الحفر :نتيجة وجود فجوات بها طين أو رمال رخوة و أحيانا ماء

ملاحظة خروج غازات من البئر: قد توجد مختلطة مع الماء و تحديد كميتها و نوعها و لو تقريبيا يفيد عمليات البحث و الحسابات الهيدرولوجية .

ب- الدراسات الهيدرولوجية بعد إتمام الحفر : عبارة عن تجارب أختبارية و عمليات أرصاد مختلفة على لمجموعة الآبار التى تم تصميمها و حفرها.

عمليات الضخ التجريبى:

تتم على عدة آبار منفردة أو على بئر رئيسى مع ملاحظة الهبوط فى آبار ملاحظة قريبة . تفيد فى تحديد : قياس الهبوط و تحديد المعاملات الهيروليكية للصخور مثل معامل النفاذية و معامل الناقلية و خلافة

عمليات الرصد الدورية :

تجرى على مجموعة آبار أختبارية مختارة موزعة على المنطقة التى يجرى فيها البحث . الغرض منها معرفة و تسجيل التغيرات دوريا خلال فترة زمنية كبيرة و هى تفيد فى التنبؤ بالتغيرات المستقبليى . تتم عمليات الرصد الأتية :

1-رصد مستوى سطح المياة : يتم فى بئر لم يضخ لفترة طويلة و يجب أيقاف ضخ الآبار المجاورة . تتم دوريا كل يوم أو كل عشرة أيام أو كل شهر على الأكثر.

2-تسجيل درجة حرارة المياة : بواسطة ترمومتر خاص تقاس درجة حرارة مياة الآبار الأختبارية دوريا مع قياس درجة حرارة الهواء عند سطح الأرض للمقارنة و تسجل النتائج.
- 3كيميائية المياة الجوفية : تؤخذ عينات دورية كل شهر و أحيانا كل ٣ شهور يجرى عليها تحليل كيميائى مختصر . بعض مكونات يتم تحليلها فى موقع البئر مباشرة مثل البيكربونات.

مصادر المياه الجوفية فى مصر:

تتوزع خزانات المياه الجوفية المتجددة بين وادى النيل (بمخزون ٢٠٠مليار م٣ تقريباً) ، وأقليم الدلتا (بمخزون ٤٠٠مليار م٣ تقريباً) . وتعتبر تلك المياه جزءاً من موارد مياه النيل . ويقدر ما يتم سحبه من مياه تلك الخزانات نحو ٦,٥ مليار م٣ وذلك منذ عام٢٠٠٦. ويعتبر ذلك فى حدود السحب الآمن والذى يبلغ أقصاه نحو ٧,٥ مليار م٣ حسب تقديرات معهد بحوث المياه الجوفية .

كما يتميز بنوعية جيدة من المياه تصل ملوحتها الى نحو ٣٠٠-٨٠٠ جزء فى المليون فى مناطق جنوب الدلتا . ولا يسمح باستنزاف مياه تلك الخزانات إلا عند حدوث جفاف لفترة زمنية طويلة ، لذلك تعتبر هذة المياه ذات قيمة استراتيجية هامــة .

ومن المقدر أن يقترب السحب من هذه الخزانات الى نحو ٧,٥ مليار م٣ بعد عام ٢٠١٧. أما خزانات المياه الجوفية غير المتجددة فتمتد تحت الصحراء الشرقية والغربية وشبه جزيرة سيناء . وأهمها خزان الحجر الرملى النوبى فى الصحراء الغربية والذى يقدر مخزونه بنحو ٤٠ ألف مليار م٣ ، حيث يمتد فى أقليم شمال شرق إفريقيا ويشمل أراضى مصر والسودان وليبيا وتشاد ، ويعتبر هذا الخزان من أهم مصادر المياه الجوفية العذبة غير المتاحة فى مصر للأستخدام نظراً لتوافر تلك المياه على أعماق كبيرة ، مما يسبب أرتفاعاً فى تكاليف الرفع والضخ . لذلك فإن ما تم سحبه من تلك المياه نحو ٠,٦ مليار م٣ /السنة وهى تكفى لرى نحو ١٥٠ ألف فدان بمنطقة العوينات .

ومن المتوقع أن يزداد معدل السحب السنوى الى نحو ٢,٥-٣ مليار م٣ /السنة كحد سحب آمن وأقتصادى . وعامة يجب تفادى الأثار الناتجة عن الأنخفاض المتوقع فى منسوب الخزان الجوفى ، وذلك بالتحول من نظام زراعة المساحات الشاسعة الى نظام المزارع المحددة بمساحات متفرقة (٢٠٠٠-٥٠٠٠فدان) وذلك للحفاظ على الخزانات الجوفية لفترات طويلة.

مصادر المياه الجوفية فى مصر :

أولاً- خزان المياه الجوفية أسفل وادى النيل ومنطقة بحيرة السد العالى:

يعتبر خزان المياه الجوفية أسفل وادى النيل فى مصر العليا هو أيضاً ثانى أكبر الخزانات الجوفية المتجددة بمصر وشمال إفريقيا، يمتد الخزان ما بين الجيزة إلى أسوان بطول حوالى ٩٠٠ كيلو متر. ويبلغ متوسط عرضه حوالى ١٤ كم وأقل عرض له عند أسوان (٢كم) وأقصى عرض له عند مدينة المنيا (٢٠ كم) تبلغ المساحة الكلية لحوض وادى النيل بين القاهرة وأسون حوالى ١٠٠ كيلو متر مربع .

أما بالنسبة لضفاف بحيرة السد العالى فإن البحيرة عموماً تمتد على مسافة حوالى ٥٠٠ كم منها حوالى ٣٥٠ كم داخل جمهورية مصر العربية و١٥٠ كم داخل السودان وضفاف بحيرة السد العالى تتكون من بعض السيول التى تتسع وتضيف فى مواقع مختلفة وفى الجزء الجنوبى الغربى يقع خور توشكى الذى يؤدى غرباً إلى منخفض توشكى ومنطقة مشروع توشكى الحالى.

ويخترق مجرى نهر النيل فى مساره من أسوان إلى الجيزة مجموعة من التكوينات الجيولوجية التى تظهر بالتتابع من الجنوب إلى الشمال وتكون الأساس الصخرى للنهر وتظهر الصخور الأقدم عمراً إبتداء من صخور الحجر الرملى النوبى فى أقصى الجنوب ويتتابع ظهور الطبقات الأحدث ناحية الشمال. غير أن منخفض مجرى نهر النيل القديم والحديث يمتلئ برواسب أحدث من الصخور الأساسية وهى رواسب النهر القديم والحديث والتى تحتوى على التكوينات الأساسية الحاملة للمياه الجوفية.

هذا ويمكن تقسيم مجرى وادى النيل من الناحية الجيولوجية إلى القطاعات الآتية حسب ظروف ونوعية وعمر الصخور الأساسية التى يخترقها النهر:

أ - من أسوان حتى الحد الجنوبى من كوم أمبو يخترق النهر تكوينات من صخور الحجر الرملى النوبى التابعة للعصر الثانى. وعند سهل كوم أمبو تعلو طبقات الحجر الجيرى رواسب الحجر الرملى النوبى ثم يظهر الحجر الرملى النوبى حتى إدفو. أما الرواسب النهرية فلا يتجاوز سمكها ٢٥ مترا.

ب) قطاع النهر من أدفو على نجع حماد يقطع فى طبقات من الطفل والحجر الجيرى تابعة للعصر الكريتاسى. وسمك الرواسب النهرية فى هذا القطاع يتراوح من ٨٠ إلى ١١٠ أمتار.

جـ) من نجع حمادى إلى ما بعد أسيوط يخترق مجرى النهر هضبة من الصخور الجيرية التابعة لعصر الأيوسين ويبلغ أقصى سمك للرواسب النهرية ١٢٠-١٩٠ متراً.

د) من منفلوط إلى قرب الواسطى يقطع النهر فى تتابع من طبقات الحجر الجيرى والطين والحجر الرملى التى تكون القطاع الأعلى لصخور الأيوسين (الحقب الثانى) والطبقات السفلى من صخور الحقب الثالث ويبلغ السمك الاقصى للرواسب النهرية فى هذا القطاع ١٢٠-٢٢٠ مترا.

هـ) فى القطاع الأخير من مجرى النهر من الواسطى حتى الجيزة فإن النهر يقطع فى هضبة من الصخور الجيرية التى تشكل هضاب المقطم من الناحية الشرقية وهضبة صخور الأيوسين الأعلى والصخور الأحدث فى الناحية الغربية ويصل سمك الرواسب النهرية فى هذا القطاع ٢٥-١٣٠ مترا.

الطبقات الحاملة للمياه :

يتواجد الخزان فى أسفل نهر النيل أساساً فى طبقات حاملة للمياه ضمن الرواسب النهرية. هذه الرواسب تحتوى على طبقتين رئيسيتين حاملتين للمياه مثل ما هو الحال فى خزان دلتا نهر النيل. الطبقة العليا هى طبقة قليلة الأهمية من الناحية المائية وتتكون من الطين والغرين اللذين يتميزان بنفاذية منخفضة عموماً سواء فى الإتجاه الأفقى أو الرأسى وبذلك تعمل كطبقة شبه منفذة تغطى الطبقة السفلية. وتغطى هذه الطبقة عموماً حوالى ٧٠% من مساحة أرض وادى النيل.

وتعتبر الطبقة السفلية هى الطبقة الرئيسية المنتجة للمياه الجوفية وتتكون من الرمال المتدرجة وتتميز بنفاذة عالية فى الاتجاهين الأفقى والرأسى. هذ وتتراوح الطبقة الرئيسية الحاملة للمياه ما بين طبقة شبه حبيسة فى المناطق التى تعلوها الطبقة شبه المنفذة (أو شبه الكتيمة) إلى ظروف طبقة مياه حرة السطح فى المناطق التى لا تتواجد فيها الطبقة شبه الكتيمة. أما فى منطقة بحيرة السد العال فإن المياه الجوفية تتواجد أساساً فى خزان الحجر الرملى النوبى الذى ينقسم إلى مستويين :

مصادر التغذية :

المصدر الرئيسى لتغذية خزان وادى النيل بالمياه هو التغلغل العميق لمياه الرى والمياه المترشحة من قنوات الرى. هذا وتم تقدير الكمية الكلية لتغذية الخزان الجوفى لحوض وادى النيل (الرواسب النهرية) بحوالى ٦,٢ مليار متر مكعب/سنة. غير أن المياه المستغلة حالياً أقل من ذلك بكثير وهناك فائض كاف يمكن استغلاله فى مشاريع زراعية وتنموية.

أما مصدر التغذية فى خزانات المياه الجوفية بمنطقة بحيرة السد العالى فهو أساس رشح مياه البحيرة فى معظم المناطق إلا أن بعض أنواع المياه الجوفية وخصوصاً تلك البعيدة عن البحيرة والتى تقع ضمن نطاق المستوى الأسفل فإنها تحتوى على نوعيات من المياه القديمة المختزنة.

هذا وقد دلت الدراسات التى أجريت بين كل من هيئة بحيرة السد العالى ومركز بحوث الصحراء وجامعة القاهرة أن معدل التسرب السنوى من البحيرة يبلغ ٢,٧ مليار متر مكعب وهى كمية هائلة يمكن استغلال جزء منها محلياً لأغراض الرى دون التخوف من تصريف المياه إلى البحيرة ثانية حيث أن مستوى المياه الجوفية يميل فى إتجاه بعيداً عن البحيرة وبذلك تتجه تيارات المياه الجوفية بعيد عنها.

نوعية المياه بخزان وادى النيل :

يتضح من بيانات الآبار التى تستغل طبقة الرمال المتدرجة فى خزان وادى النيل أن ٧٥% من مياه هذه الآبار تتميز بدرجة ملوحة أقل من ٥٠٠ مجم/لتر حيث تكون الكاتيونات الغالبة فى

المياه هى المغنسيوم والصوديوم والأنيونات الغالبة هى البيكربونات. ومثل هذه النوعية من المياه تكون صالحة لكثير من الاستخدامات، ومع ذلك فإنه يلاحظ تواجد نوعية أقل جودة من المياه الجوفية فى الطبقة العلوية فى بعض مناطق وادى النيل.

ثانياً- المياه الجوفية بمنطقة جنوب مصر وأمكانية تنميتها :

أتجهت الدولة الى مشروع تنمية جنوب الوادى (توشكى) لمقابلة التزايد المطرد فى عدد السكان ، ومن ثم زيادة الفجوة الغذائية . ولذا يهدف المشروع فى مراحله الأولي الى استصلاح مساحة قدرها حوالى ٥٠٠ ألف فدان بمنطقة توشكى غربى بحيرة السد العالى وحوالى ٢٠٠ ألف فدان بمنطقة شرق العوينات وحوالى ٥٠ ألاف فدان بمناطق درب الأربعين وبعض المناطق على ضفتى بحيرة السد العالى. وذلك اعتماداً على ما يمكن توفيره من مياه نهر النيل وبجانب ما يمكن تدبيره من مصادر المياه الجوفية المحلية بهذه المناطق ويمكن القول إن المشروع يهدف عموماً إلى التنمية العامة لمناطق جنوب الصحراء الغربية إعتماداً على ما يمكن تدبيره من موارد المياه سواء كانت سطحية أو جوفية.

المياه السطحية التى سوف يتم تدبيرها للمشروع القومى لتنمية جنوب الوادى سوف يتم رفعها من بحيرة السد العالى من الترعة الرئيسية الواقعة على مسافة قريبة من خور توشكى حيث تمتد الترعة الرئيسية الحاملة بطول ٦٠ كم فى إتجاه شمال غرب ويتفرع منها تسعة فروع مغذية لمساحة تصل فى مجموعها إلى ٤٧٧ ألف فدان من أراضى الدرجة الأولى والثانية والثالثة منها ١٨٠ الف فدان تحتاج إلى رفع ٢٠ مترا أخرى. هذا ويبلغ إجمالى أطوال الترعة الحاملة الرئيسية والفروع المغذية لتلك المساحات حوالى ٢٣٨ كم.

بجانب مصارد المياه التى يمكن توفيرها من خلال الرفع من بحيرة السد العالى فالمنطقة الواقعة بأقصى الجنوب من الصحراء الغربية فيما بين منطقة شرق العوينات فى الغرب إلى بحيرة السد العالى فى الشرق لا يتوافر بها أى مصدر للمياه سوى مصادر المياه الجوفية المتوفرة أساساً بصخور الحجر الرملى النوبى والتى يمكن تقييم المخزون كما يلى :

- **فى منطقة جنوب الصحراء الغربية** تتواجد المياه الجوفية أساساً فى صخور الحجر الرملى النوبى الحامل للمياه وهى نفس الصخور الأساسية الحاملة للمياه على نطاق الصحراء الغربية كلها فى معظم مناطق جمهورية مصر العربية. وبالرغم من أن صخور الحجر الرملى النوبى لها تاريخ طويل من الإستقلال فى مناطق الواحات الخارجة والداخلة والبحرية منذ آلاف السنين إلا أن المنطقة الواقعة فى جنوب الصحراء الغربية ليس لها تاريخ ملموس من حيث استغلال المياه الجوفية ولا يوجد بالمنطقة إلا عدد محدود من الآبار القديمة التى تعتبر من المعالم الرئيسية

بالمنطقة مثل بئر طرفاوى وبئر صفصف وبئر صحارى وبئر كسيبة وبئر الشاب وخلافه ومعظم هذه الآبار تحتل مواقع على إمتداد فوالق تسببت فى تصاعد المياه الجوفية من طبقات الحجر الرملى النوبى إلى هذه البيارات.

وقد بدأ بتلك المناطق نشاط حفر الآبار العميقة نوعاً ما بواسطة الشركة العامة للبترول فى منطقة امتياز كانت تبحث فيه عن البترول واكتشفت تشبع سمك كبير من الحجر الرملى النوبى بالمياه العذبة وتم تكليف الشركة بمواصلة استكشاف المياه الجوفية وتقييم الموارد الأرضية وفى هذا المجال تم حفر عدد ١٨ بئراً وصل منها عدد ٨ آبار إلى صخور القاعدة المتبلورة وقد أطلق اسم منطقة شرق العوينات على هذه المنطقة وتوالى حفر عدد كبير من آبار المياه حديثاً فى هذه المنطقة بواسطة شركة ريجوا حتى وصل عدد الآبار إلى حوالى ٣٢٠ بئراً.

ـ المنطقة الممتدة إلى الجنوب من قرية باريس وهى ما تسمى درب الأربعين تم حفر عدد محدود من الآبار الاستكشافية فى الماضى ومنذ حوالى سنتين تم حفر عدد خمسة آبار إرشادية بواسطة شركة ريجوا فى نطاق مشروع إرشادى كان يشرف عليه مركز بحوث الصحراء ويتضمن المشروع القومى لتنمية منطقة جنوب الوادى حفر حوالى ٨٥ بئرا فى منطقة درب الأربعين.

أثبتت الدراسات الإقليمية التى تمت على مستوى الصحراء الغربية أن طبقات الحجر الرملى النوبى الحاوية على المياه والمستغلة من منخفضات الواحات إنما تشكل أجزاء صغيرة فى خزان إرتوازى ضخم متعدد الطبقات يضم معظم مساحة جمهورية مصر العربية والجزء الشرقى من ليبيا والجزء الشمالى من السودان والأطراف الشمالية الشرقية من جمهورية التشاد وهو الخزان الذى أطلق عليه (الخزان الإرتوازى النوبى).

ويعتبر الخزان الإرتوازى النوبى الذى تبلغ مساحته أكثر من ٢ مليون كيلو متر مربع من أكبر الخزانات الإرتوازية فى العالم ويحتوى على كميات هائلة من مخزون المياه الجوفية التى هى فى معظمها عذبة إلا أن الدراسات الهيدروجيولوجية والباليوهيدروجيولوجية أثبتت أن كمية التغذية الحالية لهذا الخزان تعتبر ضئيلة جداً بالنسبة للسلعة التخزينية الهائلة للخزان لذا فإن من الناحية العملية يمكن اعتبار أن الخزان غير متجدد.

ـ نطاق الصحراء الغربية يتزايد سمك الصخور النوبية الحاملة للمياه من ٣٠٠-٧٠٠ متر فى أقصى الجنوب إلى حوالى ١٠٠٠-١٢٠٠ بالواحات الخارجة إلى ١٤٠٠ متر بالوحات الداخلة إلى ١٨٠٠ متر بالواحات البحرية إلى حوالى ٢٥٠٠ متر أسفل واحة سيوه إلى الشمال من الواحات الخارجة والداخلة تختفى طبقات الحجر الرملى النوبى أسفل قطاع من طبقات ما فوق الحجر الرملى النوبى الحاملة أيضاً للمياه فى بعض المستويات حيث تغذى هذه الطبقات الآبار قليلة العمق بواحة الفرافرة وواحة سيوه.

وتتميز معظم طبقات الحجر الرملى النوبى الحاملة للمياه بأنها تحتوى على مياه جوفية منخفضة الملوحة وأحياناً فائقة العذوبة حيث تكون ملوحة المياه أقل من ملوحة مياه النيل فى كثير من المناطق مثل الواحات الفرافرة والطبقات العميقة فى واحة سيوه.

- **المنطقة غرب بحيرة السد العالى** وإلى منخفض توشكى توجد المياه الجوفية بطبقات الحجر النوبى فى طبقتين رئيسيتين حاملتين للمياه تفصلهما طبقة من الطين. وتتغذى طبقات الحجر الرملى النوبى من رشح المياه من بحيرة السد العالى غير أن البيانات الهيدرولوجية فى هذه المناطق قليلة جداً ولا يوجد إلا عدد محدود من الآبار الإختبارية القديمة التى تم حفرها أثناء إنشاء السد العالى.

ثالثآ- مصادر المياه الجوفية بمنطقتى الواحات البحرية والفرافرة:

فى نطاق الصحراء الغربية تنقسم مجموعة المنخفضات – التى قد تتواجد بها مجموعات من الواحات إلى ثلاثة أقسام :

١ - **المنخفضات الشمالية** وتشمل منخفضات وادى النطرون والفيوم ومنخفض القطارة ومنخفض واحة سيوه.
٢ - **المنخفضات الوسطى** وتشمل منخفض الواحات البحرية وواحة الفرافرة.
٣ - **المنخفضات الجنوبية** وتشمل منخفضات الواحات الخارجة والداخلة وجنوب الوادى.

الموقع والنواحى الفيزيوغرافية :

تقع الواحات البحرية فى فى داخل منخفض محفور طبيعيا فى صخور الهضبة الجيرية حتى مستوى الطبقات العليا من سلسلة الصخور النوبية التى تغطى سطح المنخفض وتبلغ مساحة المنخفض حوالى ١٨٠٠كم٢ ويبلغ عمق المنخفض عن سطح الهضبة الجيرية المحيطة حوالى ١٠٠ متر فى المتوسط، وترتبط الواحة بطريق أسفلت رئيس بمحافظة الجيزة وعلى ذلك فإنها إداريا تتبع محافظة الجيزة.

أما واحة الفرافرة فإنها تقع بين خطوط الطول٢٩,٢٧,٣٠ وخطوط العرض ٢٧,٣٠,١٦ ويتكون منخفض الواحة فيزيوغرافيا من قاع المنخفض الذى يتراوح منسوب سطحه ما بين ٥٠,٥ متر فوق سطح البحر ويتكون من أحجار طباشيرية وحجر جيرى ورمال ثم المنحدرات المتكونة من طفلة رخوة ثم هضبة الحجر الجيرى التى تحيط بالمنخفض ويتراوح منسوبها ما بين ٢٠٠إلى ٣٥٠ مترا فوق سطح البحر..تقع كل من منطقتى الواحات البحرية والفرافرة فى النطاق شديد الجفاف حيث لا يتعدى معدل الأمطار ١٠مم ومعدل البحر حوالى ١٥مم/ يوم ومصدر المياه الوحيد بكلا الواحتين هو المياه الجوفية المستمدة من الخزان الجوفى الارتوازى للصحراء الغربية.

نوعية المياه الجوفية :

تتلخص الخواص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية بالواحات البحرية فيما يلى:

١ - تتميز المياه الجوفية بالواحات البحرية بإنخفاض ملحوظ فى درجة ملوحتها وتقل ملوحة المياه عموما كلما ازدادت الطبقات الحاملة للمياه عمقا حيث بلغ متوسط ملوحة المياه فى طبقات السينومانى الأعلى حوالى ٥٥٣ مجم/لتر.

٢ - يلاحظ إزدياد ملوحة المياه أفقيا من المناطق الغربية إلى المناطق الشمالية الشرقية.

٣ - نوعية المياه السائدة فى طبقات السينومانى الأعلى هى نوعية المياه البيكربوناتية الكلوريدية الصودية المغنيزية.

٤ - نوعية المياه الكيميائية السائدة فى طبقات ما قبل السينومانى هى نوعية المياه الكلوريدية البيكربوناتية – الصودية الكلسية.

٥ - درجة حرارة المياه الجوفية المنتجة بالواحات البحرية تتراوح ما بين ٢٨ إلى ٣٣ درجة مئوية.

أما فى واحة الفرافرة فإن نوعية المياه الجوفية فى المستويات المختلفة الحاملة للمياه تتلخص فيما يلى :

أ) المياه الجوفية فى مركب الصخور النوبية: المياه الجوفية فى سلسلة الصخور النوبية بواحة الفرافرة عذبة جداً حيث تتراوح ملوحة المياه ما بين ١٢٢ إلى ٣١٠ مجم/لتر ودرجة حرارة المياه تتراوح ما بين ٢٤، ٤٠ درجة مئوية والأس الأيدروجينى للمياه ما بين ٧,١ إلى ٨,٥. ويلاحظ انخفاض ملوحة المياه مع عمق الطبقات الحاملة لها.

ب) المياه الجوفية بمركب السينونى الأعلى الحامل للمياه: المياه الجوفية فى صخور السينونى الأعلى بمنطقة واحة الفرافرة وأبى منقار عذبة غالباً ولكنها أقل عذوبة من المياه فى المستويات الحاملة للمياه بمركب الصخور النوبية.

المياه الجوفية بواحة سيوة : تعتبر مناطق المنخفضات الشمالية بالصحراء الغربية وهى منخفضات القطارة ومنخفض واحة سيوة بجانب المنخفضات المجاورة هى مناطق الصرف الطبيعى للخزان الإرتوازى الجوفى فى صخور سلسلة الصخور النوبية وما فوقها وقد أثبت عدد من الدراسات ذلك. وتتميز مناطق الصرف الطبيعى بتواجد أعداد من العيون الطبيعية المتفجرة وهى السمة السائدة فى منخفض واحة سيوة ومناطق متفرقة من منخفض القطارة.

ويقع منخفض سيوة على بعد ٦٥ كيلو متراً من الحدود المصرية الليبية و ٣١٠ كيلو متراً جنوب غرب مرسى مطروح، ٣٠٧ كيلو متر جنوب الساحل الشمالى الغربى (تجاه السلوم) ويمتد المنخفض لمسافة ٧٥ كيلو متر فى الإتجاه شرق غرب وبعرض يتراوح ما بين ٥ إلى ٢٥كيلو متر وتبلغ مساحة المنخفض حوالى ١,٠٨٨ كيلو متر مربع منزرع منها حوالى ٦/١ هذه المساحة والباقى تغطية أراضى ملحية أو صخرية أم ملاحات.

ثانياً : مصادر المياه بواحة سيوة وإستخدامها :

إعتمدت الزراعة فى واحة سيوة ومنذ آلاف السنين على المياه الجوفية المتفجرة من عدد كبير من العيون الطبيعية وعندما كانت هذه العيون تتوقف بفعل الأطماء فقد كان الأهالى يقومون بتطهيرها وتعميقها لتعود إلى التدفق... وجميع هذه العيون أو الآبار اليدوية المحفورة بواسطة الأهالى تخترق طبقات الحجر الجيرى الرملى التابع للميوسين الأوسط وهى آبار قليلة العمق وتلعب الشقوق والفوالق دورا هاما فى تغذية هذه الآبار بالمياه. والعدد الإجمالى لهذه الآبار غير معروف على وجه الدقة ولكن عدد الآبار الرئيسية يقدر بحوالى ٢٠٠ بئر وذلك بخلاف عدد كبير من العيون الصغيرة التى وصلت فى بعض التقديرات إلى أكثر من ١٢٠٠ عين وكمية المياه المنتجة من هذه العيون حوالى ١٤٠ مليون٣/سنة بخلاف إمكانية زيادتها إلى حوالى ٢٠٠ مليون م٣/سنة.

وقد تبلورت هذه المحاولات فى عدد من المشروعات البحثية كما يلى:

١ - مشروع الصرف البيولوجى: وفى نطاق هذا المشروع تم زراعة بعض المساحات بأشجار ذات إستهلاك مائى مرتفع وذلك للتخلص من كميات من المياه الأرضى من جانب والحصول على ثروة خشبية من جانب آخر.

٢ - مشروع تثبيت الكثبان الرملية: وفى نطاق هذا المشروع تم إستخدام جزء من المياه فى زراعة أسطح بعض الكثبان الرملية المحيطة بالواحة ببعض النباتات المناسبة بهدف تثبيت هذه الكثبان والحد من خطورة زحفها على الطريق الهامة والمبانى من جانب والتخلص من جزء من المياه من جانب آخر.

٣ - مشروع خفض المنسوب: وتتلخص فلسفة هذا المشروع... فى ضخ المياه الجوفية العميقة من خزان الحجر الرملى النوبى وخلطه بمياه الحجر الجيرى الرملى الطفلى الناتج من الآبار الغير عميقة بالواحة وإستخدام هذا الخليط فى الرى. ويؤدى ذلك إلى تخفيض ملوحة التربة تدريجياً من جانب وفى نفس الوقت تخفيض الضغوط المسببة لتدفق المياه من العيون والآبار الغير عميقة من جانب آخر وبالتالى تخفيض كمية المياه المتدفقة ذاتياً إلى الواحة مما يحسن

تدريجها من نسبة الملوحة فى التربة. وجميع الآبار العميقة الجارى حفرها حديثاً تهدف إلى العمل بمنطق هذه التجربة الآخيرة.

التوسع المستقبلى فى إستخدام المياه الجوفية :

المياه الجوفية العميقة :

من المتوقع أن تصل كميات المياه المستخدمة فى الزراعة المصرية من هذا المصدر إلى نحو ٣,٦ مليار متر مكعب عام ٢٠٢٥ ولم تلق الصحراء الشرقية اهتماما كبيراً فيما يتعلق بكشف واستغلال المياه الجوفية بأراضيها فقد أسفرت الدراسات الاستكشافية عن وجود أكثر من ٢٠٠ بئر وينبوع للمياه للمياه الصالحة للشرب إلا أن معظم هذه الآبار لم تستغل اقتصادياً نظراً لعدم تدفقها بكميات وبصفة منتظمة على مدار السنة، ومن المتوقع أنه يمكن الاستفادة بنحو ٠,٣ مليار متر مكعب من مياه الينابيع مستقبلا.

التوسع فى استخدام المياه الجوفية فى الدلتا والوادى :

يمكن التوسع الزراعى الأفقى على المياه الجوفية بالوادى والدلتا غير أن ما يمكن سحبه بأمان وفق ما أشرت إليه كل الدراسات التى تمت يبلغ ٤,٩ مليار متر مكعب وحيث أن ما يتم الاعتماد عليه من هذا المصدر حالياً يبلغ نحو ٤ مليار متر مكعب سنوياً أى أنه يمكن التوسع على المياه الجوفية بالوادى والدلتا حتى عام ٢٠٠٠ فى حدود ٠,٩ مليار متر كعب أخرى.

غرق قرية «أبو سمبل» فى المياه الجوفية:



الفصل الثالث عشر: المثالج: عمل الجليد



<u>علم الجليد Glaciology</u>: هو العلم الذي يهتم بدراسة الأنهار والكتل الجليدية أو الجليد بشكل عام والظواهر الطبيعية التي تتحكم به. وعلم الجليد هو فرع متخصص من علوم الأرض ويجمع بين الجيوفيزياء ،علم الأرض، الجغرافيا الفيزيائية، علم تشكل الأرض، علم المناخ، علم الطقس، علم المياه، الأحياء والبيئة. أما تأثير الأنهار الجليدية على البشر فيشمل مجالات الجغرافيا البشرية وعلم الإنسان. إن اكتشافات الماء المتجمد على القمر والمريخ وقمر أوروبا أضافت مجالا جديدا لهذا العلم.

يغطى الجليد حوالي ١٠% من مساحة قارات العالم وهو يتكون فى المناطق الباردة عندما تنخفض درجة حرارة الجو الى دون الصفر السيليزي حيث يتكثف بخار الماء على هيئة ثلوج تتراكم على سطح الأرض وتتحول تدريجيا بفعل ثقلها الى جليد صلب، يضغط على الأجزاء السفلي منه مما ينشا عنه ارتقاع فى درجة الحرارة وبالتالي انصهار هذه الاجزاء .

وإذا وجد هذا الجليد على سطح منحدر يبدأ فى الإنزلاق الى أسفل بفعل الجاذبية الأرضية وفى هذه الحالة تعرف بالكتل الجليدية باسم " الجليديات" وبشكل أكثر تبسيطا يمكن تعريف الجليديات بانها كتل ضخمة من الثلج المجتمع على هيئة جليد صلب يتحرك ببطء شديد الى أسفل المنحدرات بسبب كتلتة الضخمة ويصل سمكه الى مئات الامتار. تغطى الجليديات مساحة حوالي ٣٨مليون متر مربع منها حوالي ٣٥مليون كم مربع فى القطبين الشمالي والجنوبي والباقى على قمم الجبال مثل جبال الألف.



التنزه عبر الكتل الجليدية

وعندما يغطى الجليد مساحات غير منتظمة فى ارتفاعها فانه يأخذ شكل مختلفا تعكس طبوغرافية الأرض التى يتراكم الجليد عليها وتعرف هذه المساحات باسم الحقول الجليدية Glacial Fields ينتج عن الحركة البطيئة للجليديات والتى تقدر بنحو متر فى اليوم نحت مسارات وتظهر على شكل اودية مستقيمة تحدها حافات صخرية شديدة الانحدار يكون قطاعها العرضي على شكل حرف U وعندما تتدفق المياه الناتجة من ذوبان الجليد فى بطون الأودية يطلق عليها الأنهار الجليدية Glacial Rivers.

<u>الجليد:</u> هو الحالة الصلبة المتبلورة غير الفلزية لمادة قد تكون سائلة أو غازية في درجة حرارة الغرفة، ومن الأمثلة عليها الجليد المائي أو جليد الأمونيا. كما في اللغة الإنجليزية، كلمة جليد تعني غالبا جليدا مائيا.

<u>الجبل الجليدي أو الكتلة الجليدية</u> : هي كتل ضخمة من الجليد، انفصلت عن أطراف إحدى المثالج، ثم انسلت إلى مياه المحيط. وتتكون من مياه عذبة متجمدة. وتمثل هذه الظاهرة مع الضباب أكبر خطر طبيعي على السفن. وغالبًا ما تحمل الجبال الجليدية ولمسافات طويلة أحجارًا ضخمة، وكميات من الحصى جلبتها من المنشأ على اليابسة، وعندما يذوب الجبل الجليدي تستقر هذه الحمولة في قاع البحر .



الممر الجبل الجليدي بيتميرهورن – مارجيلينسي

<u>شمال محيط الأطلسي:</u>

تأتي الجبال الجليدية في شمالي المحيط الأطلسي من جزيرة جرينلاند، حيث تغطي الجزيرة تقريبا مثلجة (نهر جليدي) ضخمة تبلغ مساحتها نحو ١,٨٣٤,٠٠٠كم²، ويصل متوسط سُمكها ١,٥٠٠م، ويمتد منها لسانان إلى البحر. ونظرًا لوجود الشقوق الجليدية وأمواج البحر الهائج، تنفصل الجبال الجليدية عن اللسانين. ويرافق بداية توسع الشقوق الجليدية أصوات كأصوات الانفجارات الضخمة والرعد. وإذا سقطت إحدى هذه الجبال الجليدية في خليج ضيق مقفل فإنها تسبب أمواجًا عالية. وفي هذا الجزء من المحيط الأطلسي تذوب القاعدة بسبب أشعة الشمس

ومياه المحيط الدافئة. ويمكن أن تنفصل أجزاء من هذه الجبال الجليدية على شكل نتف جليدية بحجم البيت تقريبا. أو أنها تنفصل عنها أجزاء أصــغر تسمى رضمات. وسميت هذه القطع بهذا الاسم بسبب الصوت الذي يصاحب طفوها فوق الأمواج. وتختفي جميع الجبال الجليدية تماما على بعد ٦٥٠ كم جنوبي نيوفاوندلاند .

القطبي الجنوبي:

في الأنتاركتيكا تنفصل العديد من الجبال الجليدية عن الغطاء الجليدي للقارة القطبية الجنوبية، وبعض هذه الجبال أكبر من تلك الموجودة شمال الاطلسي بعدة مرات. إذ يصل أُقصى طول لأضخمها ٣٢٠ كم، وأقصى عرض ٩٧ كم، وتغطي هذه الكتل الجليدية مساحة تقدر بحوالي ١٣ ألف كم^2، وغالبية الجبال الجليدية في هذه المنطقة هي من فئة ١٦ كم طولا. وبالمقابل فان أطول جبل جليدي أمكن قياسه شمالي الأطلسي هو بطول ٤,٦ كم .



تل من الجليد في المنطقة القطبية

المَثْلَجَة أو نهر جليدي: هي كتلة ضخمة من الجليد، تتدفَّق ببطء على اليابسة. وتتشكل المثالج في المناطق القطبيَّة الباردة، وكذلك في الجبال العالية، حيث تساعد درجة الحرارة المنخفضة بهذه الأماكن، على تكوُّن الثلج بكميات هائلة، ثم يتحول إلى جليد. ويتراوح سمك معظم المثالج بين ١٠٠ إلى ٣,٠٠٠م.



الأنهار الجليدية

تكوَّن المثالج:

تبدأ المثالج في التَّشكل عندما تتساقط كميات من الثلج في الشتاء، لايمكن أن تذوب وتتبخر خلال فصل الصيف. فيتراكم الثلج المتزايد تدريجيًا في طبقات، ويتسبب وزنه المتزايد في دمج البلورات الثلجية تحت السَّطح، مكوِّنة كريات حبيبية الشَّكل. ويزداد اندماج الكرَّيات بعد عمق ١٥م أو أكثر، وتكوِّن بلورات جليدية كثيفة. وتتحد هذه البلورات، لتُشكِّل جليداً مثلجاً. وفي آخر الأمر يصبح الجليد سميكاً لدرجة أنه يبدأ في التَّحرك، بتأثير من ضغط وزنه الهائل.

أنواع المثالج:
هناك نوعان رئيسيان من المثالج :
المثالج القارّيَّة، والمثالج الوادية. وهما يختلفان في الشكل والحجم والموقع.

المثالج القارّيَّة: ألواح من الجليد عريضة وسميكة جدًا، تغطي مساحات شاسعة من اليابسة، بالقرب من المناطق القطبيّة الأرضيَّة. فعلى سبيل المثال المثالج القارية بجرينلاند وأنتاركتيكا، تدفن الجبال والهضاب، كما تخفي الملامح الأرضية تماماً، فيما عدا القمم الشاهقة. وتتحد هذه المثالج عند المركز وتنحدر إلى الخارج في اتجاه البحر في جميع الاتجاهات.

المثالج الواديَّة: أجسام طويلة وضيقة من الجليد، تملأ وديان الجبال العالية. ويتحرك العديد منها، أسفل الوديان المنحدرة من أغوار مجوفة، على شكل زبدية واقعة بين القمم. وتتكون المثالج الوادية، في جبال قرب خط الاستواء، مثل جبال شمال الأنديز بأمريكا الجنوبية، ولكن على ارتفاعات ٤,٥٠٠ م تقريبًا أو أكثر، كما تتشكل المثالج الوادية، على ارتفاعات أقل بجبال الألب الأوروبية وبجبال الألب الجنوبية في نيوزيلندا، وفي بعض السلاسل الجبلية القريبة من القطبين.

الرصيف الجليدي أو اللوح الجليدي: هو لوح سميك من الجليد العائم الذي يتشكل عندما تنفصل مثلجة من طبقة من الجليد، تمتد ببطء من الساحل إلى سطح المحيط. وتوجد فقط في أنتاركتيكا ، وجرينلاند وكندا.

الرُّكام الجليدي: طين وأحجار تحملها المثلجات، وتترسب عندما يذوب الثلج. والركام الجليدي يعني أيضًا طبقة من هذه المواد في نهر ثلجي، أو على سطحه، أو كومة غير مستوية من هذه المواد تترسب على حافة الثلج الذائب. وعلى كُلٍّ من جانبي النهر الثلجي، في الوديان التي تقع بين الجبال، توجد قطع من الأحجار التي تدحرجت على الثلوج من منحدرات قريبة. وتُكوِّن هذه القطع الركام الجليدي. وعندما يتّحد نهران ثلجيان جبليان، فإنهما يكوِّنان نهرًا ثلجيًا. وتتحد الركامات الجليدية الجانبية لتصير ركامًا جليديًا أوسط في وسط النهر الثلجي المُركّب وعلى امتداده، وعندما تبقى الواجهة الثلجية للنهر الثلجي الجبلي، أو المساحة الثلجية القارية ثابتة مستقرة، فإن الثلج المنصهر يُخلِّف صخورًا يحملها النهر الثلجي.

<u>الجليد</u>: هو الحالة الصلبة المتبلورة غير الفلزية لمادة قد تكون سائلة أو غازية في درجة حرارة الغرفة، ومن الأمثلة عليها الجليد المائي أو جليد الأمونيا. يتكون الجليد في أي مكان في حال اجتمع وجود ماء وجو بارد، فيتحول الماء ببساطة إلى جليد. ويُمكن أن تتكون أحيانا جبال أو أنهار جليدية أو مجرد أرض متجمدة، وكثيراً ما تتجمد البحيرات (أو بالأحرى أسطح البحيرات، فبالرغم من أن طبقة سميكة من سطح البحيرة تتجمد أحياناً إلى أنه لا يُمكن أن تتجمد بحيرة بالكامل). تقريباً ثلاثة أرباع الماء العذب في العالم مُخزّن على شكل جليد، موزع بين قارة أنتركتيكا وجزيرة غرينلاند والقطب الشمالي وقمم الجبال الشاهقة وفي أماكن أخرى حول العالم.

المحيط المتجمد الشمالي يشغل ٧% من مساحة المحيطات على الأرض. وله أهمية ضخمة مناخياً لأنه يعكس معظم الأشعة الشمسية الساقطة عليه. لكن الدلائل المُشاهدة في القطب الشمالي حالياً تدل على أنه يَرقّ ويضمحل بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري. ونماذج المحاكاة الحاسوبية تدل على أن الجليد في هذا المحيط سوف يختفي تماماً خلال فصل الصيف (لكنه سوف يعود في الشتاء) بحلول الثمانينيات من هذا القرن .

<u>الجليد والثلج:</u>



بلورة ثلج.

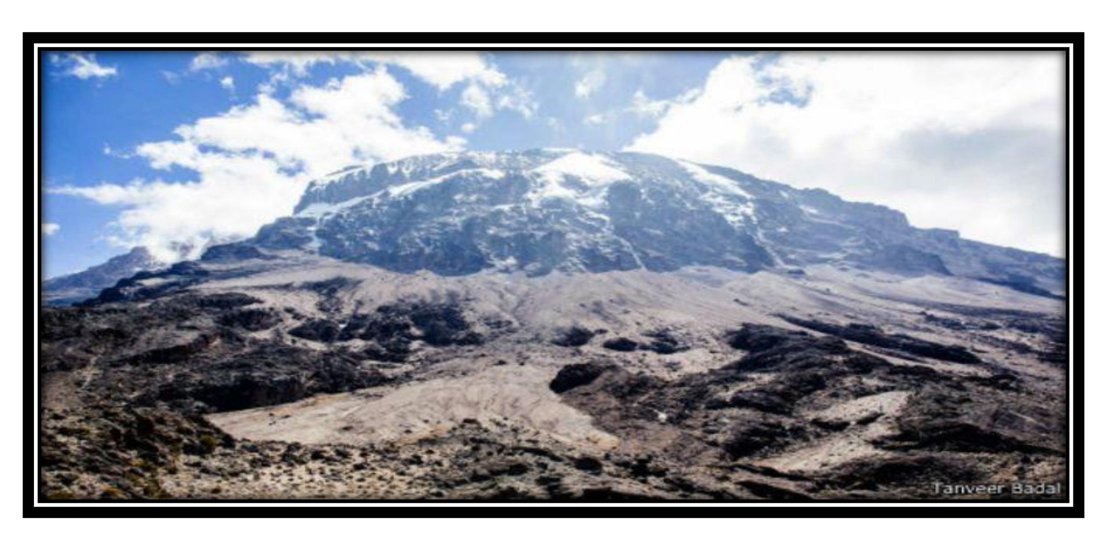
الفرق بين الجليد والثلج هو أن **الثلج** عبارة عن بلورات متجمدة كثيرة وهشة، مثل الرمال، وهذا ما يجعل تشكيله على أشكال مختلفة أمراً سهلاً. أما **الجليد** فهو عبارة عن جسم واحد متماسك وصلب، فالبحيرة المتجمدة مثلاً تكون عبارة عن سطح واحد قاس وكبير، أما كرة الثلج فتكون كتلة من بلورات صغيرة كثيرة. وأيضا من الفروق أن الجليد يتكون في أي جو بارد (حتى داخل الثلاجة)، أما الثلج فلا يُمكن أن يتكون إلا بشكل طبيعي في السحب ثم يسقط إلى الأرض (والأمر يعتمد على الظروف المناخية، فكثيراً ما ينصهر أو يتبخر قبل أن يصل إلى الأرض).

تشكلات الجليد:



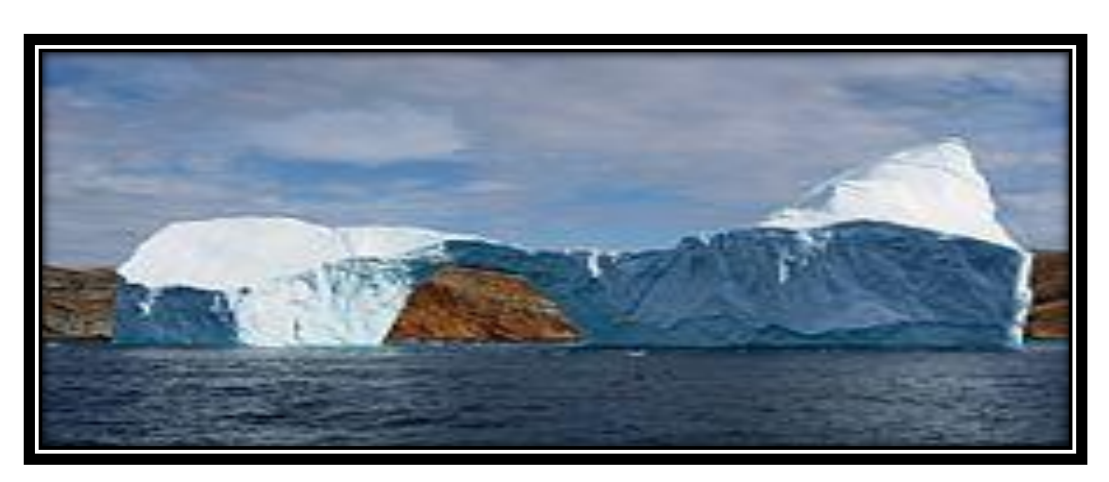
الأنهار الجليدية:

الأنهار الجليدية أو المثالج: هي عبارة عن أنهار من الكتل الجليدية تتحرك ببطء شديد من الجبال الشاهقة أو في المناطق القطبية، حيث يتشكل الثلج ومن ثم يُصبح جليداً بسبب درجات الحرارة الشديدة الانخفاض. يبدأ تكون الأنهار الجليدية عندما تهطل ثلوج كثيرة في الشتاء بكميات أكبر من أن تذوب خلال الصيف. فيبدأ الثلج بالتراكم على شكل طبقات، وبسبب تزايد وزن الطبقات العليا تبدأ البلورات الثلجية في الطبقات السفلى بالاندماج مع بعضها. وتدريجياً يبدأ حجمها بالتزايد حتى تتحول إلى كتل جليدية سميكة، تبدأ بالتحرك بتأثير من ضغط وزن الكتل الأخرى الهائل (وغالباً ما تكون قوة الجاذبية هي المساهم الأكبر في تحرك الأنهار الجليدية، حيث تتدفق الأنهار من مناطق عالية إلى أخرى أكثر انخفاضاً). تتحرك الأنهار الجليدية ببطء شديد، حيث تسير معظمها مسافة أقل من ٣٠ سنتيمتراً في اليوم. ولكن بالرغم من ذلك تتحرك أحياناً بعض الأنهار بسرعة أكبر لبضعة سنوات، فبعضها يتحرك خلال فترات لأكثر من ١٥ متراً في اليوم.



ترتفع الأنهار الجليدية لجبل كليمنجارو كأمواج متجمدة على جزيرة سماوية.

الجبال الجليدية:



جبل جليدي.

تتكوّن الجبال الجليدية: عندما تنفصل كتل جليدية كبيرة في نهاية نهر جليدي (مثلجة) يصب في بحر مفتوح، فتعوم وتنجرف في البحر حتى تذوب بعد ذلك بمدة. الجزء الذي يكون فوق الماء من الجبال الجليدية يتراوح بين سبعها وعشرها، وهذا الجزء منها يذوب بسرعة بسبب تعرضه لضوء الشمس. بينما يبقى الجزء السفلي منها تحت الماء لمدة أطول بكثير قبل أن يذوب. وهذا الجزء يُشكل تهديدا كبيراً للسفن لعدم إمكانية رؤيته، فيُمكن أن يُسبب اصطدام السفينة بجبل جليدي غرقها كما حدث مع سفينة التايتنك الشهيرة. ومنذ حادثة غرق التايتنك أصبحت هناك العديد من الدوريات المتخصصة بمراقبة الجبال الجليدية وإعطاء تقارير وتنبيهات عنها للسفن المُبحرة في المنطقة.

البَرَد:

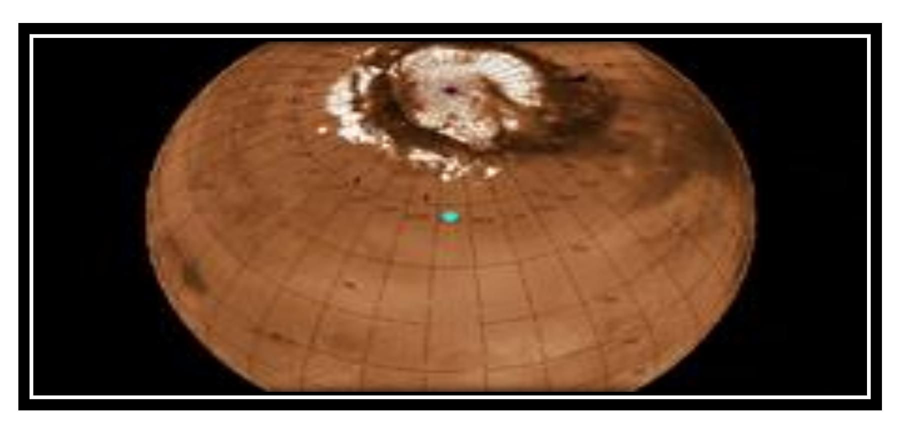


حبة برد يبلغ قطرها ٦ سم.

البَرَد هو عبارة عن حُبيبات جليدية يتراوح حجمها عموما بين حجم حبة البازلاء والبرتقالة، ويبلغ متوسط قطرها ٢,٥ سم. يكون البرد في البداية عبارة عن قطرات مطر في السحب، تبدأ

هذه القطرات بالتجمد مُشكلة ما يُعرف بـ"جنين البرد". ويتحرك هذا الجنين مع الرياح بين السحب وينمو، حيث أنه عندما تلامس قطرات مطر غير متجمدة حرارتها تحت درجة الصفر المئوية جنين البرد تتجمد وتندمج معه. تظل حبيبات البرد هذه في السحب طالما بقيت ضمن تيار هوائي صاعد للأعلى أو بقي وزنها خفيفاً بحيث يستطيع التيار حملها، لكن إن ثقل وزنها أو خرجت عن التيار فحينها سوف تسقط إلى الأرض. وتُسبب حبات البَرَد أضرارا للمزروعات والسيارات وغيرها حين تهطل .

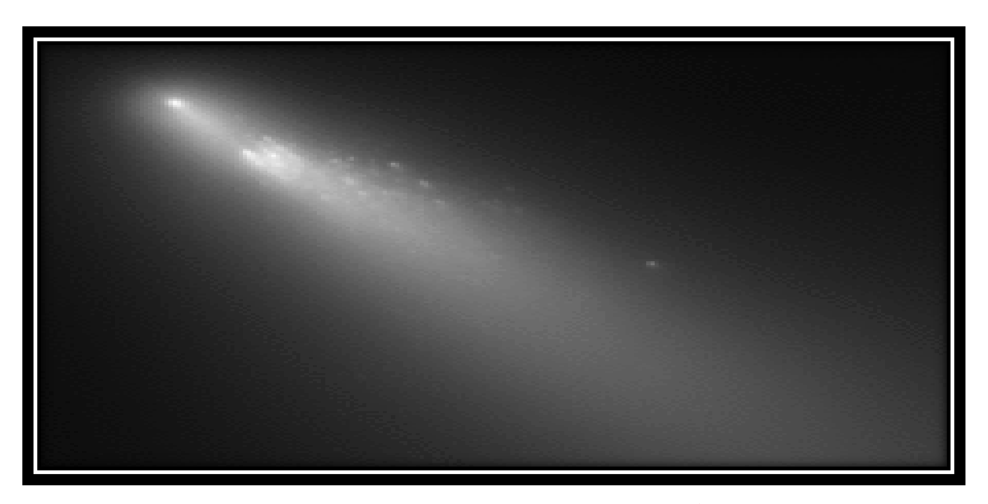
الجليد في النظام الشمسي:



خريطة للمريخ يظهر فيها أحد قطبيه المتجمّدين.

يتركز الجليد على الأرض في قطبيها، لكنه مع ذلك ينتشر في أماكن كثيرة فيها خاصة في الأماكن المرتفعة. وهو لا يُوجد على الأرض فقط، بل هو موجود أيضاً في أماكن كثيرة في النظام الشمسي. ففي عام ٢٠٠٩ اكتشف أن الجليد متواجد على القمر، حيث أن هناك فوهات عميقة جداً على سطح القمر بحيث لا يستطيع ضوء الشمس الوصول إليها أبداً. ولذلك فتكون درجة الحرارة منخفضة جداً فيها بحيث تسمح ببقاء الجليد في حالته الصلبة (والذي أتى على الأرجح من المذنبات والنيازك التي اصطدمت بالقمر). وحتى على عطارد، أقرب الكواكب إلى الشمس والذي تصل درجة الحرارة فيه أحياناً إلى ˚٨٠٠ مئوية يوجد جليد. وهو كما في القمر، يوجد في قعر الفوهات العميقة التي لا يصل إليها ضوء الشمس. وفي بعض هذه الفوهات تصل درجة الحرارة إلى ˚٣٠٠ مئوية تحت الصفر، مما يجعل الجليد يُحفظ جيداً بالحالة الصلبة.

أما على المريخ فيوجد قطبان متجمدان كما هي الحال على الأرض، ولذلك فهو يحتوي على كميات ضخمة من الجليد. وغير القطبين، يُعتقد أنه تحت سطح المريخ بأقل من متر توجد طبقة كاملة من الجليد. وقد اكتشف الجليد فعلاً في عدة أماكن على المريخ. وأيضا سطح قمر المشتري أوروبا يتكون من الجليد. ويُعتقد أن طبقة الجليد التي تغطي سطحه يبلغ سمكها كيلومتراً في أرق أمكانها. ويُعتقد أيضا أنه يوجد بحر دافئ من المياه ربما يحوي بعض أشكال الحياة تحت هذه الطبقة.



صورة متحركة لمذنب يخلّف وراءه ذيلاً انصهر منه.

أما في النظام الشمسي الخارجي، فمعظم الأجرام هي عبارة عن جليد أساساً (بالرغم من أنه ليس بالضرورة جليد ماء). ففي درجة الحرارة شديدة الانخفاض على أطراف النظام الشمسي يُمكن للجليد أن يُحفظ في الحالة الصلبة، لكن تلك الأجرام سوف تنصهر وتتبخر على الفور إذا ما اقتربت من الشمس. وهذا الأمر يَنطبق على أجرام حزام كويبر وسحابة أورت. ونتيجة لهذا فإن المذنبات (والتي تأتي من سحابة أورت، مصدر المذنبات في النظام الشمسي) تملك ذيولاً خلفها دائما، لأنها أجرام جليدية، فعندما تقترب من الشمس وتبدأ درجة الحرارة حولها بالارتفاع تبدأ في الانصهار مُشكّلة ذيولاً خلفها وهي ما يميزها عن الكويكبات. ويُعتقد أن هذه المذنبات التي تاتي من أطراف النظام الشمسي هي مصدر الجليد على الأرض وغيرها من أجرام النظام الشمسي. وهذه المذنبات جليدية لأن القرص الكوكبي الذي تشكلت منه كان يتألف بشكل رئيسي من الجليد.



الواجهة المهيبة للنهر الجليدي في جنوب غرب الأرجنتين، الذي يشكل جزءًا من الغطاء الجليدي في أمريكا الجنوبية.

الجليد هو عنصر مركزي للمناخ والجيولوجيا والحياة. ويُعتبر فهم سلوك الجليد من الأمور الأساسية من أجل التنبؤ بمستقبل كوكبنا، وكشف حيثيات ظهور الحياة في الكون . يوجد الماء المتجمد على الكواكب والأقمار والمذنبات في نظامنا الشمسي. ويقوم الغطاء الجليدي القطبي على كوكب الأرض بعكس حوالي ٩٠% من الإشعاع الشمسي الوارد إلى الكوكب. وفي المتوسط، توجد حوالي ٧% من مساحات المحيطات في حالة تجمد، كما يؤدي الجليد البحري إلى تعديل التيارات البحرية، والحَدّ من تبادل الغازات مع مياه البحر. ويغطي الجليد والثلوج حوالي ١٠% من مساحة اليابسة بشكل دائم، وحوالي نصف المنطقة الشمالية من الكرة الأرضية في فصل الشتاء، حيث تقوم هذه الملاءات من المياه المتجمدة بعزل الأراضي والمحيطات من تحتها.

وتقوم الغيوم الجليدية بتركيز المواد الكيماوية المنتشرة في الهواء، وهي مواقع لحدوث عدة تفاعلات كيميائية جوية. كما تقوم غيوم الجليد فوق المناطق القطبية بدور المهيئ للتفاعلات ما بين المواد المستنزفة للأوزون، مما يؤدي إلى إنتاج ثقوب في طبقة الأوزون على ارتفاعات عالية؛ تؤدي بدورها إلى تعريض ملايين الناس إلى كميات زائدة من الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن للتفاعلات الكيميائية التي تحدث على الثلوج التي تغطي اليابسة أن تقوم بإنتاج الأوزون، وبعض الملوثات البيئية الأخرى. وتتراكم السموم العضوية والزئبق في الثلوج، وتتم إسالتها في الأنهار والمحيطات مع ذوبان الثلوج، حيث تدخل بدورها إلى الشبكة الغذائية الطبيعية.

ومع ذلك.. فإن الآليات الجزيئية التي تقوم عليها هذه العملية تبقى غير معروفة إلى حد كبير. وبدون معرفة الكيفية التي يتم بها حدوث هذه التفاعلات الكيميائية في الثلوج والجليد، وأين تحدث بالضبط ضمن تركيبة الحبيبات والبلورات، سيظل من المستحيل بناء وحدات تحليلية حول الثلوج والجليد، لإدخالها في النماذج الحوسبية للمناخ والغلاف الجوي، أو لاستقراء الدراسات المخبرية في تحليل الظروف البيئية ضمن حدود كافية من الثقة.

كيف يتكون الجليد؟

هناك معلومات كثيرة ما زالت مجهولة حول كيفية وتوقيت حدوث تجمد المياه، رغم أهمية هذا كأمر أساسي لفهم مناخ الأرض ودورة المياه. لا يمكن أن نتنبأ على وجه اليقين أين تتكون الغيوم الجليدية في الغلاف الجوي، ومتى تتكون، حيث تبقى بعض المناطق في الجو رطبة، مع توقعنا لها أن تصبح متجمدة.. فهل تتجمد قطرات المياه من السطح أولًا، أم تحدث لها بلورة من الداخل؟ وما هو شكل الجليد الذي ستكوِّنه؟ يتشكل الجليد عادة بسهولة على الأسطح الصلبة. ولفهم لماذا يحدث ذلك.. تجب دراسة القواعد الجزيئية لتفاعل جزيئات المياه مع هذه الأنواع من الأسطح.



تساقط كثيف للثلوج يمكنه أن يملأ الأرض الجرداء الواقعة بين الجليد ويعيق انحساره.

كيف تتغير تركيبة الجليد؟

تتكون بلورات الجليد من جزيئات من المياه، ترتبط معًا في تركيبة منتظمة رباعية الأسطح بواسطة الروابط الهيدروجينية. هذا.. والكثير من التركيبات البلورية للمياه معروفة، وأكثرها شيوعًا البلورة الجليدية سداسية الأضلاع التي تشكل رقاقات الثلج. ومع تغيُّر درجات الحرارة والضغط الجوي تقوم الجزيئات المائية بالتكيف مع الحالة المتغيرة، عن طريق تعديل ترتيبها لتقليل الطاقة؛ مؤدية إلى تشكيل الأنماط المختلفة من الجليد. هناك فهم جيد لهذه التحولات في ترتيب الجزيئات الجليدية على المستوى الظاهري البادي للعيان، ولكننا بحاجة إلى إعادة إنتاج هذه العمليات الجزيئية لاحقًا في المحاكاة الحوسبية، أو حسابات كيمياء الكَمّ على كل نطاقات تغيُّر الحرارة والضغط، ومع هذه النماذج المحسّنة يمكننا أن نعمل على الإجابة على الأسئلة الأخرى، مثل التركيبات السطحية، وكيفية وصول الشوائب إلى الجليد.

كيف تتصرف التركيبات المختلفة من الجليد؟

بالإضافة إلى البلورات المنظمة، يمكن أن يظهر الجليد في تركيبات غير منتظمة، ولكن عظيمة الاستقرار، بحيث تكون الترتيبات الجزيئية ذات عمر طويل، ولكن ليس في حالة أدنى من الطاقة. وهذا التغيُّر في الشكل يوسّع من الاحتمالات التي تتعلق بمدى استعداد تكوين بلورات الجليد، والقدرة التفاعلية الكيميائية للغيوم الجليدية، وكيفية التقاط الشوائب في المذنبات، وكذلك القوة الميكانيكية للأجسام الجليدية في الفضاء. ومع هذا.. فلا نعلم إلا القليل حول كيفية تركيب هذه الأشكال الجليدية، وما إذا كانت تتفاعل مع الجليد البلوري الشكل، أم لا، وأين توجد. ويمكن أن يتكون الجليد عديم الشكل رباعي الأسطح بشكل رخو في تركيبته، ولكنه ليس بلوريًّا على المذنبات عندما تتكثف المياه في درجات حرارة منخفضة جدًّا، ويمكن أن يتكون الجليد المكعب عظيم الاستقرار الذي يتمتع باستعداد تكوين أعلى من الترتيب سداسي الأضلع في الغيوم الجليدية.



ما هو تركيب سطح الجليد؟

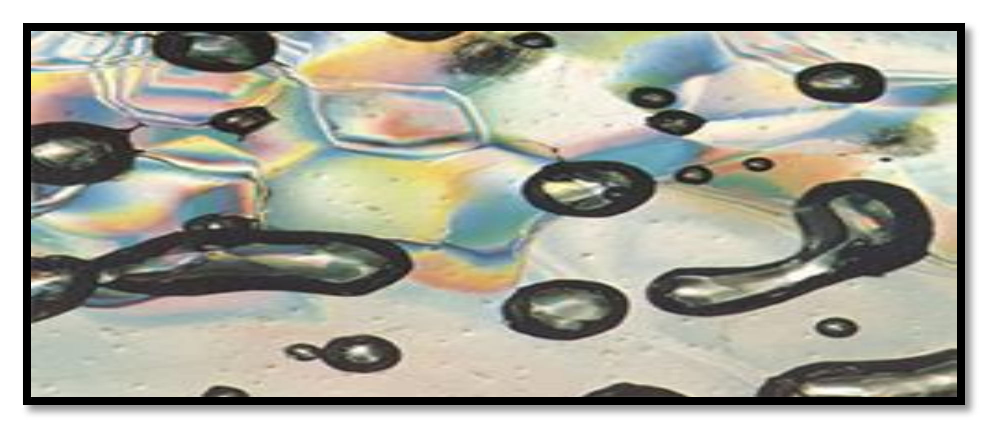
يتم كسر النظام الجزيئي للثلج على أسطح البلورات. وتقوم الروابط الهيدروجينية التي تتعرض إلى الهواء أيضًا بضم ملوثات، مثل غاز الميثان، والأسيتون، وحمض النيتريك، وحمض الهيدروكلوريك. وتصبح الشبكات الناتجة والمكونة من جزيئات المياه غير منتظمة، وصعبة الوصف، خاصةً في الجليد، الذي يُعتبر دافئًا وقريبًا من نقطة الذوبان، حيث تنتشر حالة عدم الانتظام بشكل عميق إلى داخل البلورة. وعلينا أن نعرف الأشياء الأساسية حول هذه الطبقة، مثل تركيبها الجزيئي، وكيف يتغير هذا التركيب مع درجات الحرارة، وكذلك دورها في حمل الشوائب وتهيئة التفاعلات الكيميائية.. ذلك الدور الذي لا يزال غامضًا، ويمكن لتقنيات التحليل الطيفي الحساس للأسطح أن تحدد شبكات جزيئات المياه التي تقوم بعملية الربط في مستويات ضغط قريبة من الضغط الخارجي المحيط، وبالتالي الجليد القريب من نقطة الذوبان.

أين تقع الشوائب داخل الجليد؟

تختلط المياه المتجمدة غالبًا في المناطق العليا من الغلاف الجوي، وفي الفضاء مع أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون والميثان وحمض الكبريتيك وحمض النيتريك، ويحمل الجليد على سطح الأرض الكثيرَ من المواد الكيميائية من مصادر مختلفة منها الأملاح البحرية والغبار والتلوث، وقد تمت ملاحظة شوائب مختلفة تتطاير من المذنبات التي تتجه قريبًا من الشمس، وهذا يشير إلى أن هذه الشوائب تكون محاصرة داخل مواد متجمدة إلى أن يتبخر الجليد، ولكننا لا نعرف كيف تختلط هذه الشوائب مع الجليد، أو ما إذا كانت أنواع مختلفة من الجليد مثل الثلج الهش، والأنهار الجليدية المتراصة تحتفظ بالشوائب بطريقة مشابهة أم لا.

وقد تم التعرف على تركيبات بلورية مرتبطة بشوائب مختلفة في تجارب مخبرية، وعلى سبيل المثال.. يشكل حمض النيتريك هيدرات صلبة مع الماء المتجمد، وتعتبر تلك المركبات محورية في عملية استنزاف الأوزون في طبقة الستراتوسفير الجوية. وعلينا أن نحدد المرحلة التكوينية والموقع والبيئة الكيميائية للشوائب ضمن المواد الجليدية في الفضاء، وفي الغيوم، وعلى

الأرض، كما تعتبر تقنيات التحليل الطيفي الحساس للأسطح وانكسار الأشعة واعدة في هذا السياق.



تعكس الفقاعات الهوائية في جوف الجليد نوعية الغلاف الجوي القديم.

كيف تحدث التفاعلات داخل الجليد؟

في القطب الجنوبي تقوم تفاعلات أكسيدات النيتروز المنطلق من الجليد بإنتاج كميات كافية من الأوزون؛ لرفع التركيزات المحلية إلى مستويات شبيهة بالمناطق الصناعية. وفي القطب الشمالي يتم تحويل أيونات الزئبق المترسبة من الغلاف الجوي إلى الغطاء الجليدي، قبل أن يتم إطلاقها مرة أخرى إلى الجو. وفي الفضاء تتكون جزيئات مثل الهيدروجين والمياه والميثانول وثاني أكسيد الكربون والأمونيا والأحماض الأمينية على أسطح الحبيبات الجليدية، وللحصول على فهم أفضل للتفاعلات الكيميائية التي تحدث على طبقات الأسطح وفي شبكات الجليد المعقدة علينا أن نحدد المسارات الرئيسة ومواقع وجود الشوائب المشاركة في هذه التفاعلات، مع الأخذ بعين الاعتبار أن القدرة التفاعلية على السطوح الجليدية تختلف بشدة عن تلك التي تحدث على الجيوب متناهية الصغر، أو الجليد المتراكم ذي الحجم الكبير، ويمكن للتجارب الحركية التقليدية أن تحدِّد الحالة الكيميائية للعناصر المتفاعلة.

هل هناك جيوب من السوائل في الجليد؟

يملأ الماء المالح المسامات والقنوات في الجليد البحري، ويمكن للأملاح البحرية في الثلوج والشوائب حول حدود الأنهار الجليدية أن تؤدي إلى ذوبان محلي للجليد، تنتج عنه بِرَك مائية داخلية، ويؤدي وجود السوائل إلى تغيير مصير الشوائب، واستقرار الحالات المختلفة من الجليد، ولكننا في البيئات الطبيعية للجليد لا نعرف ما هي كميات السوائل المحصورة داخل الجليد، أو مواقع وجودها، ونلحظ في المختبر أن السوائل تتجمع في جيوب جليدية متناهية الصغر تقاس بالنانومتر على درجات حرارة أقل بعشرات الدرجات من المستوى الطبيعي وليس من المعروف ما إذا كانت هذه الجيوب توجد في الطبيعة أم لا، وما هي كميات الشوائب التي يمكن أن تلتقطها، ومن الصعب تسجيل الملاحظات في هذه المستويات من الأحجام الصغيرة، كما أنه من الصعب التمييز ما بين المياه السائلة والمتجمدة بصريًا.

كيف تؤثر العمليات الفيزيائية على الشوائب في الجليد؟

يتم امتصاص المواد الكيميائية من الغلاف الجوي بسرعة عن طريق الثلوج، حيث تهبط هبوطًا عميقًا داخل الأنهار الجليدية على مدار قرون؛ لتغيّر بذلك التركيب الكيميائي للهواء والثلج والغطاء الجليدي على مدار الزمن. وتسهم التباينات في مستويات الملوثات التي تنتشر بشكل بطيء مثل الفلورايد وسلفونات الميثان في تعقيد عملية تأريخ السجلات البيئية التي توثقها عينات الجليد الجوفية، ولذا.. يجب علينا تحديد العمليات التي تسيطر على انتشار الملوثات في الجليد والثلوج، وكذلك تبادلها مع الجو في الغيوم وعلى الأرض عن طريق قياس معدلات التبادل، وموقع حدوث عمليات التبادل هذه ضمن تركيب الجليد، حيث تؤثر بعض العمليات على تحرك ومصير الشوائب في الجليد، مثل الامتزاز السطحي، والانتشار نحو بلورات الجليد، أو على امتداد حدود حبيبات الثلج، وكذلك حجز هذه الشوائب عن طريق السوائل. ويمكننا استخدام تقنيات التحليل الطيفي؛ لمتابعة هذه التفاعلات على المستوى الجزيئي.

كيف يؤثر نمو الجليد على الشوائب؟

تمر جزيئات المياه في الطبقات السطحية من الجليد والثلوج بشكل مستمر في حالات من التبخر وإعادة التجمد. وعلى مدار اليوم، وبشكل يترافق مع تغيُّر دورة الحرارة ما بين الدفء والبرودة يمكن حدوث إعادة انتشار لحوالي ٦٠% من هذه الجزيئات، فكيف تستجيب الشوائب مع تغير شكل أو حجم أو المساحة السطحية للجليد بشكل جذري؟ كشفت الدراسات المخبرية والميدانية أنه يتم التقاط الزئبق، وبيروكسيد الهيدروجين، وحمض الهيدروكلوريك، وحمض النيتريك بشكل أسرع من قِبَل الجليد الذي يمر في مرحلة نمو أكثر من الجليد الثابت. وهناك حاجة إلى مزيد من التجارب؛ لقياس هذا الامتصاص بشكل دقيق، وعلى مدى معدلات نمو مختلفة. ويمكن أن تكون البداية الأفضل بقياس ومتابعة امتصاص الشوائب في بلورات الجليد الفردية التي تمر في مرحلة النمو.



دور ظاهرة "التسامي" (أي تحول الثلج والجليد إلى بخار دون المرور بالحالة السائلة) التي تبدأ مع وجود أقل نسمة هواء. هذان العاملان يؤديان معاً إلى تراجع مستمر للأنهار الجليدية.

إلى متى سوف يستمر الجليد؟

تشير البيانات الواردة من الأقمار الصناعية إلى أن الغطاء الجليدي الدائم في القطب الشمالي يتراجع بما معدله ١٠% في كل عقد، كما يتسارع تراجع مساحات الأنهار الجليدية في جرينلاند والقطب الجنوبي. إن فهمنا لهذه الملاحظات لا يزال قاصرًا عن التنبؤ بمعدلات اختفاء الثلوج والجليد من كوكبنا في هذا القرن. ويمكن أن تساعدنا دراسة تأثير كيمياء الجليد على الذوبان في المستوى الجزيئي على التنبؤ بمصير الجليد والثلوج على كوكب الأرض.

ويتسبب المناخ البارد في اتساع المثالج على المدى الزمني الطويل، حين يزيد تراكم الجليد عن معدل انصهاره. وقد غطى الجليد منذ حوالي عشرين ألف سنة مضت ثلاثة أضعاف المساحة المغطاة به الآن. ومن المحتمل أن الجليد قد انكمش بدرجة ملحوظة على الأرض خلال القرون القليلة الماضية، حيث كان معدل انصهار الجليد نتيجة ارتفاع درجة حرارة الأرض أسرع من معدل تراكمه وتحركه. ومن المؤكد أيضا أن تأثير انصهار الجليد على الأرض يكون ضخماً، حيث يؤدي هذا الانصهار إلي ارتفاع مستوى سطح البحر ليغطي المدن الساحلية منخفضة الارتفاع، بالإضافة إلي هجرة نطاقات المناخ، حيث تتغير نطاقات المناخ المعتدل إلي نطاقات شبه قاحلة. ومن المؤكد أن معرفة المناطق الجليدية هو موضوع تطبيقي ومهم في فهم البيئة.



الثلج الوردي يزيد من تغير المناخ

وتقوم المثالج بتعرية الوديان ذات الجوانب شديدة الانحدار وكشط أسطح صخور الأساس واقتلاع كتل ضخمة من الأرض الصخرية أسفلها. وخلال العصور الجليدية ice ages الحديثة استطاعت المثالج تعرية سطح الأرض بمعدل أكبر بكثير مما فعلت الأنهار والرياح خلال هذا الزمن الجيولوجي القصير نسبياً. ويبلغ ركام التجوية الجليدية حجما هائلا، حيث ينقل الجليد أطناناً هائلة من الرواسب إلي حافة المثلجة، أو لتترسب بعيدا بواسطة مجاري الماء المنصهر.

وتؤثر التعرية الجليدية والترسيب على الأرض من النواحي التالية:

١ – تصريف الماء وحمولة الرواسب في الأنهار الرئيسية.
٢ – كمية الراسب المنقولة إلي المحيطات.
٣ – التعرية والترسيب في المناطق الساحلية وعلى الرفوف القارية الضحلة نتيجة التغير في مستوى سطح البحر.

وقد نحتت المثالج الكثير من معالم الأرض في أحزمة الجبال، كما شكلت في البليستوسين معالم مناطق شاسعة من أراض قارية منخفضة امتدت بعيدا فيما نعتبره الآن مناطق معتدلة. وعند انصهار تلك المثالج فإنها خلفت وراءها رواسب وأشكال تعرية تدل على سابق وجودها.

وتدل الرواسب الجليدية وأشكال التعرية الجليدية على المناخات القديمة والحديثة، لأن الثلج والبرودة المستمرة ضروريان لتكون المثالج. ويدل الانتشار الواسع للمثالج في الماضي القريب على أن مناخ الأرض كان أبرد كثيراً مما هو عليه الآن في مناطق كثيرة. ومن المعروف الآن أن المثالج غطت في الأزمنة الجيولوجية القديمة مناطق تعتبر الآن أدغالا قارية، بينما هناك أجزاء من الكرة الأرضية مغطاة حاليا بالجليد، إلا أنها كانت دافئة ورطبة فقط ولم يكن بها قلنسوات جليدية قطبية في الماضي. ويستخدم التوزيع السابق للمثالج في تحديد نوع المناخ في الماضي، وأيضا في التنبؤ بالتغيرات المستقبلة في المناخ أيضا.

وسنستعرض في هذا الفصل أنواع المثالج وكيفية تكونها وطرق تحركها. كما سنستعرض أيضا التجوية الجليدية ومعالم التعرية، وكذلك تأثير المثالج أثناء نقل وترسيب حمولتها من الرواسب، تاركة وراءها عديداً من المعالم على سطح الأرض نتيجة حركة وتقدم المثالج وتراجعها. كما سنستعرض العصور الجليدية وأسباب حدوثها.

- تحول الثلج إلى جليد المثلجة: الجليد باعتباره صخرا:

يعتبر جليد المثلجة صخرا متحولا، يتكون من بلورات متداخلة من معدن الجليد ice. وتعتمد خصائص الجليد على عوامل التشوه تحت الضغط الناشئ عن تراكم الثلج والجليد الذي يعلوه. وحيث أن الثلج snow المتساقط حديثاً يكون عالي المسامية، كما تكون كثافته أقل من عشر كثافة الماء العادي، فإن الهواء يتخلل المسام بين بلورات الثلج بسهولة، حيث تختفي تدريجيا نقاط الضعف الموجودة في رقائق الثلج بالبخر. ويتكثف بخار الماء الناتج، خاصة في الأماكن القريبة من مراكز رقائق الثلج، وتصبح بلورات الجليد الهشة والمتحولة ببطء أصغر حجما، وأكثر استدارة وكثافة كما تختفي المسام بينها وتضمحل فقاعات الهواء بداخلها.

ويؤدي التراكم إلي تزايد كثافة الثلج عاما بعد عام إلي أن يصبح في النهاية غير منفذ للهواء، ويصبح جليد مثلجة. وعلى الرغم من أن الجليد يصبح صخرا، إلا أن هذا الجليد يكون له درجة انصهار أقل بكثير من درجة انصهار أي صخر آخر يتواجد في الطبيعة، وتكون كثافته في حدود ٠,٩جم/سم٣، مما يعني أنه سيطفو فوق سطح الماء.

وتحدث المزيد من التغيرات في الجليد كلما زاد عمق المثلجة. عينة أسطوانية حصل عليها العلماء الروس عندما حفروا تحت قاعدة مثلجة في مركز فوستوك Vostok Station في شرق قارة أنتاركتيكا. حيث لاحظوا أن زيادة سمك المثلجة بإضافة المزيد من الثلج المتساقط يعمل على زيادة الضغط، الذي يؤدي إلي نمو حبيبات الجليد الصغيرة وزيادة حجمها حتى يصل قطرها بالقرب من قاعدة المثلجة إلي ١سم أو أكثر. وتشبه الزيادة في حجم الحبيبات نتيجة زيادة الضغط ما يحدث عندما يتحرك صخر دقيق الحبيبات إلي الأعماق داخل قشرة الأرض ليتعرض لضغط عال لمدة طويلة، حيث تتكون ببطء حبيبات كبيرة من المعادن المختلفة .

<u>أ – أنواع المثالج</u>:

<u>تقسيم المثالج بناءً على الحجم والشكل إلى قسمين رئيسين هما :</u>

المثالج الجبلية والقلنسوات الجليدية والثاني هو المثالج القارية والرفوف القارية.

كما تصنف المثالج أيضا بناءا على درجة حرارتها الداخلية.

<u>ونعرض فيما يلي وصفا لتلك الأنواع</u>:

<u>١ – مثالج الوادي</u>:

تكون مثالج الوادي valley glacier مألوفة لدى المتزلجين على الجليد ومتسلقي الجبال، ويطلق عليها أحيانا المثالج الألبية alpine glaciers. وتتكون تلك المثالج من أنهار من الجليد تجري من المرتفعات الموجودة بالمناطق البادرة، حيث يتراكم الثلج غالبا عند تلك المرتفعات، في أودية موجودة سلفا وينساب بين حوائط الوادي. وتشغل معظم هذه المثالج عرض الوادي بأكمله، وقد يصل سمك الجليد فيها مئات الأمتار. وعند خطوط العرض المنخفضة يكون المناخ أكثر دفئا، لذا توجد مثالج الوادي عند رؤوس الأودية فقط، في قمم الجبال، أما عند خطوط العرض العليا حيث تكون المناخات أكثر برودة، فإن المثالج الجبلية تهبط على امتداد الوادي لمسافة يبلغ طولها عدة كيلومترات. كما قد تمتد على هيئة فصوص عريضة في الأراضي المنخفضة المتاخمة لسفوح الجبال. وعندما تنحدر مثالج الوادي على سلاسل جبلية شاطئية فإنها قد تنتهي عند حافة المحيط حيث تتكسر كتل من الجليد وتكون جبال الجليد icebergs. وقد تمتد مثلجة جبلية كبيرة جدا للخارج على بيد منت (سفح جبل) لطيف الانحدار وإلي ما بعد قاعدة الجبل، وتعرف تلك المثلجة بمثلجة بيدمنت piedmont glacier، وتتكون من فص كبير وعريض من الجليد يشبه الملعقة المقلوبة. ويؤدي اقتلاع وتمزق الصخور عند قمة مثلجة الوادي بفعل الجليد إلي نحت حفرة مستديرة عميقة تنحدر جوانبها برفق، تعرف بدارة الجليد cirque، وهى تشبه السلطانية، أو تشبه نصف فنجان شاي قطع رأسيا.

<u>الفيوردات:</u> وقد تقوم مثالج الوادي عند الشواطئ، وعلى عكس الأنهار أو المجاري المائية عموماً، بتعرية قيعان الوادي إلي مستوى أعمق بكثير من مستوى سطح البحر. وعندما يتراجع ا

لجليد، فإن هذه الأودية ذات الحوائط شديدة الانحدار والتي ما تزال تحتفظ ببروفيل على شكل حرف U تغمرها مياه البحر، تسمى بالفيورادات fjord glacial. وتنشأ عن هذه الفيوردات مناظر مدهشة تميز شواطئ ألاسكا وكولومبيا البريطانية والنرويج، وتعتبر مناطق مناسبة لرسو السفن وإنشاء المواني.

وتتكون القلنسوة الجليدية ice cap من جسم من الجليد والثلج على شكل قبة تظهر انسيابا شعاعيا للخارج، وتغطي مناطق جبلية مرتفعة أو أرضاً منخفضة بالقرب من المناطق القطبية عند خطوط العرض العليا.

<u>٢ – المثالج القارية والرفوف الجليدية :</u>

المثلجة القارية continental glacier: هى أكبر أنواع المثالج على سطح الأرض. والمثلجة القارية عبارة عن فريشة سمكية من الجليد تتحرك حركة بطيئة للغاية (لذلك تسمى أحيانا فريشة جليدية ice sheet). وأكبر الفرش الجليدية في العالم اليوم هى تلك التي تغطي معظم جرينلاند وقارة أنتاركتيكا (وهى قارة غير مأهولة تقع حول القطب الجنوبي). ويغطي جليد المثالج في جرينلاند وأنتاركتيكا المنطقة بالكامل وليس وديان الجبال فقط.

ويغطي الجليد حوالي ٨٠% من المساحة الكلية لجزيرة جرينلاند التي تبلغ حوالي ٤,٥مليون كيلو متر مربع، يغطيها حوالي ٢,٨ مليون كيلو متر مكعب من الجليد، تمثل حوالي ١١% من جليد العالم. ويشبه السطح العلوي لفريشة الجليد عدسة محدبة ضخمة. ويبلغ سمك الجليد في أعلى نقطة في منتصف الجزيرة أكثر من ٣٢٠٠ متر. وينحدر سطح الجليد من المنطقة المركزية تجاه البحر من كل الجهات. وتتكسر فريشة الجليد عند الشاطئ الذي تحيطه الجبال إلي ألسنة ضيقة تشبه مثالج الوادي، وتنحدر عبر الجبال حتى تصل إلي البحر. ويتكسر الجليد عند البحر ليكون جبال الجليد التي تطفو في البحر بحرية.

ويغطي قارة أنتاركتيكا فريشتان جليديتان كبيرتان تتقابلان على امتداد سلسلة جبال شاهقة الارتفاع تعرف بجبال ترانس أنتاركتيك Transantarctic Mountains. وتضم قارة أنتاركتيكا حوالي ٨٤% من جليد العالم، ويبلغ حجم الجليد بها حوالي ٢٤ مليون كم٣. وتغطي الفريشة الجليدية الأكبر قارة أنتاركتيكا، بينما تغطي الفريشة الأصغر عدة جزر تقع في غرب القارة، ويطلق عليها أرخبيل أنتاركتيكا Antarctic archipelago. وبسبب الفريشة الجليدية فإن قارة أنتاركتيكا يكون بها أعلى متوسط ارتفاع فوق سطح الأرض وأقل متوسط درجة حرارة بالنسبة لكل القارات .

<u>والرف الجليدى ice shelf</u>: هو غطاء سميك من الجليد مستوى تقريباً يطفو فوق سطح المحيط وتتم تغذيته بواحدة أو أكثر من المثالج فوق سطح اليابسة. وينتهي من ناحية البحر بجرف جليدي حاد قد يرتفع إلي حوالي ٥٠ مترا. وتوجد الرفوف الجليدية عند عدة أماكن على امتداد حواف

فرش أنتاركتيكا الجليدية. فمثلا يطفو فوق بحر روس Ross Sea رف جليدي يبلغ مساحة ولاية تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية .

٣-المثالج معتدلة الحرارة والمثالج القطبية:

تصنف المثالج ليس فقط تبعاً للحجم والشكل، ولكن أيضا تبعا لدرجة حرارتها الداخلية إلي مثالج معتدلة الحرارة ومثالج قطبية. فدرجة الحرارة مقياس مهم في التصنيف، لأنها تساعد في تحديد كيفية تحرك المثالج وكيف تساهم في تشكيل سطح الأرض. ويكون الجليد في المثلجة معتدلة الحرارة temperate glacier (تسمى أيضا مثلجة دافئة warm glacier) عند نقطة الانصهار الضغطي pressure melting point، وهى درجة الحرارة التي ينصهر عندها الجليد عند ضغط معين. ويوجد الماء الناتج من عملية الانصهار مع الثلج في حالة اتزان في هذه المثالج التي تتواجد أساسا عند خطوط العرض المنخفضة والمتوسطة (حول خط الاستواء).

وعند خطوط العرض العليا والارتفاعات العالية، حيث يكون المتوسط السنوي لدرجات حرارة الهواء تحت درجة التجمد، فإن درجة حرارة المثلجة تبقى تحت نقطة الانصهار الضغطي حيث لا يحدث أي انصهار موسمي، أو يحدث بدرجة محدودة. وتسمى المثلجة التي يبقى فيها الجليد تحت نقطة الانصهار الضغطي بالمثلجة القطبية polar glacier.

ب – كيفية تكون المثالج :

يبدأ تكون المثلجة عندما يتساقط الثلج بغزارة في فصل الشتاء، ولا ينصهر في فصل الصيف. ويتحول الثلج تدريجياً إلي جليد، وعندما يزيد سمك الجليد بدرجة كبيرة، فإنه يبدأ في التحرك. ويتطلب تكون المثلجة تحقق الشروط التالية:

١ – درجات حرارة منخفضة: يلزم لتكون المثلجة أن تكون درجة الحرارة منخفضة بدرجة تكفي لأن يبقى الثلج مغطيا لسطح الأرض طول العام، وتوجد هذه الظروف عند خطوط العرض العليا (المناطق القطبية وتحت القطبية) والمرتفعات العالية (الجبال). ويرجع السبب في ذلك إلي أن هذه المناطق تكون شديدة البرودة لأن الزاوية بين أشعة الشمس وسطح الأرض تزداد كلما اقتربنا من القطبين، بمعنى زيادة زاوية سقوط الأشعة على سطح الأرض، فكلما زادت هذه الزاوية قلت كمية الطاقة الإشعاعية للشمس التي تستقبلها المنطقة. أما المرتفعات العالية فتكون باردة لأن العشر كيلومترات السفلي من الغلاف الجوي تزداد برودتها بانتظام كلما ازداد الارتفاع فوق سطح الأرض. ونتيجة لذلك يتغير ارتفاع خط الثلج من موضع لآخر. ويعرف خط الثلج snow line بأنه الارتفاع الذي لا ينصهر ما يسقط فوقه من ثلج في فصل الصيف، أي الحد السفلي لثلج دائم طول العام. وتتكون المثالج حتى في المناخات الدافئة إذا كانت الجبال مرتفعة بدرجة كافية. وتتكون المثالج بالقرب من خط الاستواء على قمم الجبال التي يزيد ارتفاعها عن حوالي ٥٥٠٠م. ويقل هذا الحد الأدنى من الارتفاع بانتظام ناحية القطبين، حيث يبقى الثلج والجليد طوال العام حتى عند مستوى سطح البحر .

٢ – كميات كافية من الثلج: يتطلب تكون الثلج والمثالج بالإضافة إلي البرودة الشديدة، وجود بخار ماء كثيف في الهواء الجوي. وحيث إن معظم الرياح المحملة ببخار الماء تسقط معظم حمولتها من الثلج على الجانب المواجه للريح من سلسلة الجبال العالية، فإن الجانب المدابر للريح يكون جافا ولا يتساقط عليه الثلج. فجبال الأنديز العالية تقع في حزام تهب عليه رياح من الغرب. ولذلك تتكون المثالج على المنحدرات الغربية الرطبة، بينما يكون الجانب الشرقي جافا، ويوجد عليه القليل من الثلج والجليد.

ج – نمو المثالج: التراكم :

يشبه الثلج المتساقط حديثاً كتلة من الزغب أو القطن المندوف تتكون من رقائق الثلج snow flakes. ومع تقدم عمر بلورات الثلج الدقيقة تأخذ في الانكماش، وتصبح متساوية الأبعاد. وتتضاغط دقائق الثلج أثناء هذا التحول وتكون ثلجاً حبيبياً أكثر كثافة. وعندما يتساقط ثلج جديد فإنه يدفن الثلج الأقدم تحته، وأكثر كثافة يسمى ثلجاً جليدياً firn، وهو مرحلة انتقالية بين الثلج snow والجليد ice. وتؤدي زيادة عمر الثلج ودفنه إلي تكوين جليد مثلجة صلب، بسبب إعادة تبلور الحبيبات الأصغر مما يؤدي إلي تلاحم كل الحبيبات مع بعضها البعض. ويمكن اعتبار الثلج راسب يتحول بالدفن إلي صخر متحول هو الجليد. وتستغرق عملية التحول هذه عدة سنوات فقط، وقد تستغرق من ١٠ إلي ٢٠ سنة.

وتنمو المثلجة ببطء في فصل الشتاء، نتيجة تساقط الثلج على سطح المثلجة وتحوله إلي جليد. وتسمى كمية الثلج التي تضاف إلي المثلجة سنويا بالتراكم accumulation. وأثناء تراكم جليد المثلجة، فإنه يحتفظ ببقايا حياة قديمة، حيث أعلن علماء من إيطاليا والنمسا عام ١٩٩٢م عن اكتشاف جثمان لإنسان ما قبل التاريخ محفوظاً في ثلوج جبال الألب على الحدود بين الدولتين. كما وجدت في شمال سيبريا حيوانات منقرضة متجمدة ومحفوظة بالجليد القديم مثل الماموث، وهو حيوان ضخم يشبه الفيل نشأ قبل التاريخ وانتشر في المناطق الجليدية. كما وجد أيضا في جليد المثالج أدلة مهمة على مناخ الأرض، فقد أوضحت التحاليل الكيميائية لفقاعات الهواء في الجليد القديم جدا والمدفون في الأعماق في كل من جرينلاند وأنتاركتيكا، أن مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي كانت أقل خلال التثلج الأخير عنها في أثناء تراجع الجليد.

د – انكماش المثالج: النفاد :

يكتمل نمو المثلجة عندما يتراكم الجليد بسمك كاف ويبدأ في التحرك. وينساب الجليد مثل الماء على المنحدرات تحت تأثير الجاذبية الأرضية. فقد يتحرك الجليد لأسفل على امتداد واد في الجبل أو من مركز فريشه الجليد القارية. وتؤدي كلتا الحالتين إلي تحرك المثلجة إلي ارتفاعات أقل حيث تكون درجات الحرارة أعلى، وتسمى كل كمية الجليد أو الثلج التي تفقدها المثلجة كل عام بالنفاد (التلاشي) ablation.

ويتحكم في عملية فقد الجليد أربع عوامل هي:

١ – الانصهار melting، حيث تفقد المثلجة مادتها عندما يبدأ الجليد في الانصهار.
٢ – الانفصال الجليدي calving، حيث تتحرك المثلجة وتصل إلي الشاطئ، فتنفصل أجزاء من الجليد من مقدمة المثلجة وتتكسر وتكون جبالا جليدية icebergs.
٣ – التسامي sublimation، حيث يتحول الجليد مباشرة من الحالة الصلبة إلي الحالة الغازية في المناخات الباردة.
٤ – التعرية بالرياح، حيث تسبب الرياح القوية تعرية الجليد بالانصهار والتسامي.

وتنكمش المثالج نتيجة تدفئة وانصهار الجليد عند حافة المثلجة المتقدمة. وهكذا، وعلى الرغم من أن المثلجة تتقدم للخارج أو لأسفل على المنحدرات، فإن الحافة الجليدية يمكن أن تتراجع بالانصهار والانفصال الجليدي.

هـ - تغير حجم المثالج: العلاقة بين التراكم والنفاد:

يؤدي الفرق بين التركم والنفاد إلي التنبؤ بحدوث نمو أو انكماش في المثلجة ، حيث تنمو بعض المثالج بينما ينكمش البعض الآخر، ويحدث ذلك استجابة للتغيرات المناخية على امتداد عدة عقود. وعلى امتداد آلاف السنين السابقة بقيت العديد من المثالج ثابتة. ويهتم كثير من لعلماء الآن بتأثير تدفئة الكرة الأرضية على مناخها. لذلك اقترح الجيولوجيون ضرورة ملاحظة العلاقة بين التراكم والنفاد باستمرار. فانكماش المثالج في مناطق معينة يمكن أن يكون تحذيرا مبكراً جداً لتغير محلي أو إقليمي في المناخ. ففي عام ١٩٩٥م أظهرت صور الأقمار الصناعية تراجعا واسعا للرف الجليدي الممتد في غرب أنتاركتيكا، وانفصال جليدي calving لجبل جليدي طوله حوالي ٨٠كم . وقد هذا الانكماش من تدفئة الجانب الغربي لقارة أنتاركتيكا بحوالي ٢,٥ درجة مئوية خلال الخمسين عاماً الماضية. وتسبب التدفئة على مستوى الكرة الأرضية قلق العلماء الآن لأنها قد تؤدي إلي انفصال جليدي كبير لجبال جليدية، مما يؤثر بالتالي على ارتفاع كبير في مستوى سطح البحر.

و – المثالج: مصادر متحركة للماء في المناطق الفقيرة به:

تنساب كميات كبيرة من الماء المنصهر من أسفل الجليد ومن جوانبه عندما تنصهر المثلجة. وهذه المياه المنصهرة هى مصادر أساسية لمجاري الماء الباردة التي تنساب في وديان الجبال أسفل المثالج. فإذا أقيم سد من ركام المثلجة في مثل هذه الوديان، فقد تتكون بحيرات عند نهاية المثلجة.

ويعتبر الماء العذب المنصهر من المثالج مصدرا للماء العذب في المناطق الفقيرة بالماء، شريطة أن يكون نقله إلي المستخدمين اقتصاديا. وعلى الرغم من أن هذا الاقتراح قد يكون غير عملي الآن، إلا أنه قد يؤخذ في الاعتبار في المستقبل.

- حركة المثالج :

يبدأ الجليد في التحرك حينما يصل سمك الجليد إلي عشرات الأمتار فيستطيع التغلب على الجاذبية الأرضية، وهكذا يتحول الجليد إلي مثلجة. وعندما تتحرك المثالج، فإن الجليد يتشوه وينساب ببطء أسفل المنحدرات. ومن المهم أن نفهم الانسياب الجليدي، لأن حركة المثالج هى المسئولة عن العمل الجيولوجي الضخم الذي يقوم به الجليد. وفي الحقيقة، فإن نتائج حركة الجليد من التعرية والنقل والترسيب هى التي ألهمت العلماء إلي أهمية حركة الجليد. وعلى عكس الانسياب السريع للأنهار والذي يمكن ملاحظته مباشرة وبسرعة، فإن حركة المثالج تكون بطيئة لدرجة أنه يبدو أن الجليد لا يتحرك على الإطلاق. ويزداد معدل حركة المثلجة بازدياد شدة الانحدار أو زيادة سمك الجليد. وحتى على السطح المستوي، مثل الأرض المنخفضة القارية فإن الجليد ينساب للخارج إذا زاد السمك بدرجة كبيرة. وتنساب المثلجة القارية وتتحرك للخارج نتيجة ازدياد السمك كما ينساب السائل اللزج على السطح المستوي. ولكن كيف ينساب الجليد وهو مادة صلبة، كما لو كان سائلا لزجا يتحرك ببطء؟

أ – ميكانيكية الانسياب الجليدي:

تنساب المثالج أساسا بميكانيكيتين هما :

الانسياب اللدن والانزلاق القاعدي.

ففي الانسياب اللدن plastic flow يتشوه الجليد وينزق داخليا على نطاق ميكروسكوبي. أما **في الانزلاق القاعدي** basal slip، فإن الجليد ينزلق على المنحدرات على قاعدة المثلجة، مثلما تنزلق قطعة من الصخور على لوح خشبي مائل.

ويكون الضغط قليلا على الأجزاء العليا من المثالج (أقل من ٥٠ متراً من سطح المثلجة). ويسلك الجليد عند هذه الضغوط المنخفضة كجسم صلب قابل للكسر، ويتكسر أثناء سحبه نتيجة الانسياب اللدن للجليد من أسفل، وتسمى هذه الكسور شقوقا جليدية crevasses. وتنشأ تلك الشقوق الطولية على سطح مثلجة الوادي نتيجة للاختلاف في معدل الحركة بين أجزاء المثلجة المختلفة. وقد يصل عمق بعض هذه الشقوق إلي ١٠٠ متر من السطح. وتحدث الشقوق الجليدية بكثرة عندما يسحب الجليد عند جدران المنحنيات في الوادي، حيث تزداد شدة الانحدار.

- التثلج ومعالم الأرض الجليدية :

لا يظهر العمل الجيولوجي للمثلجة، من تعرية ونقل وترسيب عند قاعدتها أو جوانبها، إلا بعد أن ينصهر الجليد، مثلما لا نستطيع رؤية أثر القدم المطبوعة في الرمل إلا بعد تحرك القدم عن الأثر. ويمكن نستنتج العمليات الطبيعية التي نتجت عن تحرك الجليد من طوبوغرافية المناطق التي كانت تشغلها المثالج سابقاً، والمعالم المميزة التي تركتها. وتتضمن عملية التثلج glaciation عمليات التعرية والنقل والترسيب مثل بقية العمليات الجيولوجية التي تحدث على سطح الأرض.

للمثالج قدرة هائلة على تعرية الصخور الصلبة. ويمكن لمثلجة وادي عرضها لا يزيد عن بضع مئات من الأمتار أن تمزق وتطحن ملايين الأطنان من صخر الأساس في عام واحد. ويقوم جليد المثلجة بتعرية هذه الكمية الضخمة من الرواسب من الصخر المكون لأرضية وجوانب المثلجة، والتي تترسب بعد انصهار الجليد. ويعكس حجم هذه الرواسب قدرة الجليد كعامل تعرية أقوي من الماء أو الرياح. ويمكن أن تقارن بين معدلات وكميات الرواسب المترسبة في العصور الجليدية والفترات الفاصلة بين تلك العصور. وتوضح هذه المقارنات أن كمية الرواسب الكلية المترسبة في محيطات العالم كانت أكبر عدة مرات خلال العصور الجليدية الحديثة عنها خلال العصور غير الجليدية. ويرجع هذا الفرق إلي التعرية الشديدة بالمثالج مقارنة بالتعرية بالماء أو الرياح.

وعند تغيير شكل سطح الأرض الذي تتحرك فوقه المثلجة، تعمل المثلجة مثل ماكينة جرف الثلج وآلة المبرد الحديدية بالإضافة إلي عمل الزلاجة. فهى تشبه جرافة الثلج التي تجرف الصخور والتربة التي تم تجويتها، كما تقتلع كتلا من صخر الأساس. وتعمل المثلجة مثل آلة المبرد الحديدية، حيث تكشط الصخر الصلب. كما تعمل مثل الزلاجة، حيث تحمل الحمولة الناتجة من عمليتي الجرف والكشط، بالإضافة إلي ركام الصخور الذي سقط على المثلجة من المنحدرات المجاورة.

١ – معالم التجوية الجليدية الصغيرة :

تحتوي قاعدة المثلجة معتدلة الحرارة على قطع صخرية ذات أحجام مختلفة تحملها المثلجة مع الجليد المتحرك. وتقوم الكسرات الصغيرة من الصخور والتي تحتويها قاعدة المثلجة بحك وكشط صخر الأساس الذي تتحرك فوقه المثلجة لتكون حزوزا طويلة ومتوازية تقريباً تسمى حزوزا جليدية glacial striation. أما الكسرات الصخرية الأكبر حجما والتي تقوم المثلجة بسحبها على صخر الأساس، فإنها تحفر أخاديد جليدية glacia grooves تصطف في اتجاه انسياب المثلجة. وتعمل حبيبات الرمل الدقيق والغرين والمحمولة في جليد قاعدة المثلجة مثل ورق السنفرة، حيث تقوم بصقل الصخر حتى يصبح سطحه ناعما وعاكسا للضوء.

وحيث إن الحزوز والأخاديد الجليدية تكون مصطفة ومرتبة في اتجاه انسياب الجليد، فإنها تستخدم بالإضافة إلي بعض معالم التجوية المصطفة الأخرى في استنتاج مسار انسياب المثالج بعد زوالها.

٢ – المعالم الأرضية للجبال المتثلجة:

إن المناظر الطبيعية الخلابة لمعظم جبال العالم المرتفعة هى نتيجة مباشرة للنحت الجليدي الذي كون مجموعة مميزة من المعالم الأرضية وهى:

دارة الجليد: تعتبر دارات الجليد ضمن أكثر المعالم المميزة للجبال المتثلجة شيوعا. وتنشأ دارة الجليد ضمن سلسلة من أشكال التعرية تقوم بنحتها مثالج الوديان أثناء انسيابها من مكان نشأتها

إلي حدودها السفلية. ومع استمرار التعرية، تزداد دارات الجليد في الحجم عند رؤوس الوديان وتتقارب وتتقابل تدريجيا عند قمة الجبل لتكون مرتفعا مستطيلا قمته حادة مسننة يعرف بحيد المثلجة arête. وعندما تنحت ثلاث دارات جليدية أو أكثر في قمة الجبل، تتكون قمة حادة مرتفعة هرمية الشكل، ذات جوانب شديدة الانحدار تعرف بالقرن الجليدي horn.

الوديان الجليدية: تختلف الوديان الجليدية glacial valleys التي شكلتها مثالج سابقة عن وديان الأنهار أو المجاري المائية العادية عموما في جوانب عدة. فعندما تتحرك مثلجة الوادي وتنحدر من الدارات الجليدية، فإنها تنحت واديا أو تعمق مجرى مائيا سابقا، ويتكون نتيجة لذلك وادي له بروفيل (مقطع جانبي) يشبه الحرف U، ويعرف بواد مشابه للحرف يوU-shaped valley. وتكون الوديان الجليدية ذات قيعان مستوية وحوائط شديدة الانحدار، على عكس الوديان المتكونة في عديد من الأنهار المنحدرة من الجبال والتي يأخذ بروفيلها شكل حرف V.

ولا تختلف المثالج والمجاري المائية في شكل الوديان التي تكونها فقط، بل في الطريقة التي تتصل بها الروافد مع الوديان الرئيسية. فعلى الرغم من أن سطح الجليد يكون مستويا عند النقطة التي يلتقي فيها رافد المثلجة مع الوادي الرئيسي للمثلجة، إلا أن قاع الوادي الرافد قد يكون مرتفعا جدا عن الوادي الرئيسي. وعندما يذوب الجليد وتزول المثلجة، فإن الوادي الرافد يكون قاعه أعلى من قاع الوادي الرئيسي، ولذلك يعرف بوادي معلق hanging valley. وبعد ذوبان الجليد، فإن المجاري المائية تشغل هذه الوديان، حيث يتميز اتصال الوادي الرئيسي بالرافد بوجود مساقط مائية waterfalls نتيجة أن المجرى المائي في الوادي المعلق يندفع بسرعة على الجرف شديد الانحدار الذي يفصله عن الوادي الرئيسي تحته.

٣ – المعالم الجليدية الناشئة عن المثالج القارية والقلنسوات الجليدية :

معالم السحج: يظهر على صفحة الأرض التي شكلتها الفرش الجليدية معالم التعرية الصغيرة نفسها والمميزة للوديان المتثلجة. وتساعد الحزوز striations الجليدية في الاستدلال على خطوط انسياب ومسارات الفرش الجليدية التي تلاشت منذ مدة طويلة.

- **التلال والقدور الجليدية:** يلاحظ في عديد من المناطق التي كانت تشغلها المثالج القارية أن سطح الأرض قد تحول إلي مجموعة من التلال (حيود) الناعمة الانسيابية المتوازية تقريباً، والتي تسمى بالتلال الجليدية drumlins، حيث يكون اتجاه استطالتها هو اتجاه تحرك الجليد. وتوجد التلال الجليدية في مجموعات، وتأخذ عادة شكل سفينة مقلوبة، حيث يساعد هذا الشكل على تقليل مقاومة الأجسام لجليد المثلجة المنساب فوقها وحولها. ويتراوح ارتفاع التلال الجليدية من ٢٥ إلي ٥٠ مترا، بينما يبلغ طولها حوالي كيلو متر واحد. وتتكون التلال الجليدية من رواسب معظمها بالجليد. وتوجد بعض التلال الجليدية المتكونة من صخر الأساس، وتسمى تلالا جليدية صخرية rock drumlins، حيث يرجع تكونها إلي التعرية بالجليد المنساب. كما تتميز المناطق التي كانت تشغلها المثالج القارية بوجود حفر ومنخفضات نشأت عن تجمع الرواسب في مقدمة

المثلجة المتراجعة حول كتل من الجليد الراكد، حيث تدفن تلك الكتل الجليدية. وعندما تنصهر كتل الجليد في النهاية، تتكون حفر أو منخفضات تعرف بالقدور الجليدية kettles.

ب – نقل الرواسب بالمثالج :

تختلف المثلجة عن المجرى المائي في الطريقة التي يتم بها نقل حمولة الحبيبات الصخرية. فعلى عكس المجاري المائية، فإن جزءاً من الحمل الخشن للمثلجة يمكن حمله علىجوانب أو حتى فوق سطح المثلجة، كما تستطيع المثلجة حمل أحجام من الصخر أكبر لمسافات بعيدة. كما يمكنها نقل القطع الصخرية الصغيرة والكبيرة جنبا إلي جنب دون أن تفرزها طبقاً للحجم أو الكثافة إلي حمل قاع وحمل معلق، كما هو الحال في الأنهار. ولذلك تكون الرواسب التي تكونها المثلجة رديئة الفرز وغير متطبقة.

ويتركز حمل المثلجة عند قاعها وجوانبها، حيث يتماس في تلك المناطق صخر الأساس مع المثلجة، وحيث تكون عمليتي السحج abrasion والاقتلاع plucking مؤثرتين. ويرجع وجود معظم الركام الصخري فوق سطح مثالج الوادي إلي الصخور المتساقطة من الجروف المجاورة لها. وعندما تلتقي مثلجتان، يندمج الركام الصخري عند حرافهما ليكونا ركاما جليديا moraine وسطيا مميزا لونه داكن.

ويتكون معظم الحمل في جليد قاع المثلجة من صخر مطحون ناعم للغاية (حجم الرمل الناعم جدا والغرين) يعرف باسم دقيق صخري rock flour، حيث تكون أسطح الحبيبات حادة ومزواة نتيجة التكسير والطحن. وينشأ الدقيق الصخري نتيجة احتكاك الفتات الصخري الذي يحمله الجليد بصخور مجرى المثلجة.

ج – الرواسب الجليدية :

تسمى كل الرواسب المتكونة سواء بالمثلجة نفسها أو بالمجاري المائية الناشئة عن انصهار جليد المثلجة، منجرفات مثلجية glacial drift، أو للتبسيط منجرفات drift سواء على اليابس أو في البحر. ويرجع استخدام اسم النجرفات إلي أوائل القرن التاسع عشر، حينما ساد اعتقاد غامض بأن كل هذه الرواسب قد انجرفت إلي أماكن استقرارها خلال فيضان سيدنا نوح عليه السلام أو بواسطة مجاري مائية قديمة أخرى. وتضم المنجرفات المثلجية الرواسب المرتبطة بالجليد المتحرك أو الجليد الراكد غير المتحرك. وقد تم التعرف على عديد من الرواسب التي تكون سلاسل متدرجة من رواسب غير مفروزة إلي رواسب تم فرزها. ومن الخصائص التي تميز المنجرفات عن بقية الرواسب التي نشأت بعوامل تعرية أخرى، أن الرواسب الجليدية تتكون أساسا من حطام صخري تم تجويته ميكانيكيا ولم يتعرض إلا لقليل من التجوية الكيميائية قبل الترسيب. ولذلك تشمل مكونات الرواسب الجليدية المعادن التي تكون عرضة للتحليل الكيميائي مثل معادن الهورنبلند وفلسبارات البلاجيو كليز.

١ – الرواسب المتكونة بالجليد :

الحريث والجلاميد المنقولة: الحريث (تل) till عبارة عن منجرفات مثلجة غير مفروزة nonsorted ترسبت مباشرة من الجليد، وتحتوي على كافة أحجام الفتات من الصلصال والرمل وحتى الجلاميد. ويمثل الحريث أحد نهايتي السلسلة التي تتدرج من الرواسب الجليدية غير المفروزة إلي الرواسب الجليدية المفروزة. وتتواجد الحبيبات الصخرية في الحريث بنفس حالتها عند ترسبها من الجليد. وتتكون معظم رواسب الحريث من خليط عشوائي من الفتات الصخري، حيث تحيط أرضية من راسب دقيق التحبب بفتات صخري مكون من مختلف الأحجام. وتكون أسطح الحصى والفتات الصخري الأكبر حجما في الحريث ناعمة ومسحوجة، كما يكون في بعضها حزوز striations. ويميل كل من الفتات وحبيبات الأرضية الخشنة إلي أن تترتب بحيث يوازي محور استطالتها اتجاه حركة الجليد أثناء انسيابه. وتساعد مثل هذه القطع في تمييز الحريث من الرواسب الأخرى، والتي قد تتكون من خليط من رواسب مختلفة الحجم مثل الحطام الناشئ أثناء الانهيارات الأرضية من الانسياب الطيني أو الانزلاق الصخري.

وصخر الحريث (تلليت) tillite: هو حريث قديم أصبح صخرا، خاصة الحريث الأقدم من البليستوسين. وفي معظم الأحيان، لا تكون كل الجلاميد والكسرات الصخرية الأصغر حجما في الحريث مكونة من نوعية صخر الأساس نفسها، الذي يسفل المثلجة. ويدل ذلك على أن مكونات الحريث قد نقلت إلي موقعها الحالي من مكان آخر. وتسمى الكسرات الصخرية المترسبة من المثلجة، والتي يختلف تركيبها الصخري عن تركيب صخر الأساس bedrock الذي يسفلها بالجلاميد المنقولة (الشاذة) erratics (من اللاتينية بمعنى طواف أو هائم). وقد تزن بعض الجلاميد المنقولة الضخمة مئات الأطنان، وتوجد على بعد عشرات أو حتى مئات الكيلومترات من مصدها الأصلي. وتسمى المنجرفات المترسبة على قاع البحر من الأرفف الجليدية بمنجرفات جليدية بحرية glacial marine drift.

الركامات الجليدية: تحمل المثلجة المتحركة ركاما صخريا ناتجا من تعرية الأرض التي مرت عليها المثلجة، أو المتساقط على سطح المثلجة من الجروف المجاورة. وعندما ينقل الركام ويبدأ الجليد في الذوبان وينقص سمك الجليد نتيجة عملية النفاد، يبدأ الركام في الترسب. وتسمى المنجرفات التي حملها الجليد ثم تراكمت بعد انصهاره، ولا يكون لشكل سطحها علاقة بصخر الأساس الموجود أسفلها بالركام الجليدي (مورين) moraine. وقد استخدم هذا المصطلح في الأصل الفلاحون الفرنسيون لوصف الهضاب المكونة من الركام بالقرب من حواف المثالج في جبال الألب الفرنسية. وتتكون كل أنواع الركامات الأرضية بغض النظر عن الشكل أو الموقع من رسوبيات الحريث. وربما يكون مصطلح الركام الجليدي أكثر المصطلحات شيوعاً في المعالم الأرضية المكونة من رواسب ثلجية.

وهناك عدة أنواع من الركامات الجليدية: يسمى كل منها طبقاً لوضعه بالنسبة للمثلجة التي تكون منها. وأكثر هذه الأنواع وضوحاً في الحجم والشكل هو ركام النهاية (مورين النهاية)

end moraine، والذي يتراكم عند مقدمة المثلجة على شكل حيود أوتل مستطيل من المنجرفات الجليدية. وتسمى الركامات النهائية التي تحدد أقصى تقدم للمثلجة بالركامات الطرفية terminal moraines، وهى تعتبر من أفضل الأدلة لمعرفة الامتداد السابق للمثلجة. وتسمى المنجرفات الجليدية المتحركة على امتداد جوانب الوادي بالركام الجانب lateral moraine. وتندمج الركامات الجانبية لمثلجين متحدتين ليكونا ركاما وسطيا medial moraine .

<u>والركام الأرضي</u> ground moraine :هو طبقة من المنجرفات ترسبت تحت الجليد. ويتراوح سمك الركامات الأرضية من الرقيق مع وجود هضاب صغيرة وأرضيات مكشوفة من صخر الأساس، إلي الكبير الذي يكفي لتغطية وإخفاء صخر الأساس تماماً.

<u>٢ – الرواسب المتكونة بالماء: المنجرفات المتطبقة :</u>

تتكون بعض المنجرفات من رواسب متطبقة ومفروزة، عكس الحريث والمنجرفات الجليدية البحرية المترسبة على قاع المحيط، غير المفروزة عموماً. وهذا النوع من المنجرفات الجليدية لا يترسب مباشرة من جليد المثالج. ولكن يتكون من المياه المنصهرة والمنسابة من الجليد. ويتراوح حجم المنجرفات المتطبقة من حصى رملي خشن ردئ الفرز جدا ترسب من مجاري مائية مضطربة إلي رواسب غرين وصلصال جيد الفرز ترسب ن مياه ساكنة.

<u>رواسب الاكتساح:</u> يسمى الراسب المتطبق المتكون في مجاري المياه التي تنساب من حافة المثلجة عند انصهارها برواسب الاكتساح أو الرواسب سهلة الغسل outwash، حيث يغسل الراسب بعيدا عن الجليد. ومثل هذه المجاري المائية يكون لها نمط مجدول بسبب حمولة الراسب الكبيرة.

وتسمى تراكمات الغرين والصلصال المترسبة علىقاع بحيرة عند حافة المثلجة، والتي تشمل طبقات متبادلة من طبقات خشنة الحبيبات وأخرى دقيقة الحبيبات بالصلصال الرقائقي الحولي varve. ويتكون هذا الراسب من زوج من الطبقات المتكونة خلال عام واحد بسبب التجمد الموسمي لسطح البحيرة. ففي فصل الصيف، وعندما تكون البحيرة خالية من الجليد، تترسب الرواسب الخشنة عندما تنساب مجاري المياه المنصهرة من المثلجة إلي البحيرة، بينما في فصل الشتاء يتجمد سطح البحيرة، ويصبح الماء أسفل هذا السطح ساكنا، ويترسب الصلصال الدقيق الحبيبات، مكونا طبقة رقيقة فوق الطبقة الخشنة الحبيبات التي تكونت في فصل الصيف. ويعتبر الصلصال الرقائقي الحولي أحد أشكال رواسب الاكتساح.

<u>٣ – تربة الصقيع الدائم :</u>

تكون الأرض في حالة تجمد دائم في المناطق شديدة البرودة، حيث لا ترتفع درجة الحرارة في فصل الصيف إلا إلي الحد الذي يسبب انصهار طبقة سطحية رقيقة. وتغطي التربة المتجمدة طوال السنة حوالي ٢٥% من سطح اليابس على الكرة الأرضية، وتعرف بتربة الصقيع الدائم

permafrost. وتشمل تربة الصقيع الدائم، بالإضافة إلي التربة نفسها، التجمعات من بلورات الجليد في طبقات وأوتاد وكتل غير منتظمة. وتختلف بالطبع نسبة الجليد إلي التربة، وكذلك سمك تربة الصقيع الدائم من منطقة إلي أخرى. وقد يصل سمك طبقة الصقيع الدائم في ألاسكا وشمال كندا من ٣٠٠ إلي ٥٠٠ متر.

وتبقى الأرض تحت طبقة الصقيع الدائم والمعزولة عن البرودة القارصة عند السطح، في حالة غير متجمدة نتيجة التسخين بالحرارة الداخلية للأرض والمنسابة من أسفل. ويكون التعامل مع تربة الصقيع الدائم صعبا، خاصة عند إقامة المشاريع الهندسية مثل إنشاء الطرق والمباني وتمديد أنابيب البترول، حيث تنصهر هذه التربة أثناء الحفر، ولا يستطيع الماء المنصهر تخلل التربة التي مازالت متجمدة أسفل الحفر، لذلك يبقى عند التربة السطحية والمشبعة بالماء، مما يؤدي إلي الزحف والانزلاق والتدهور.

– العصور الجليدية: ثلج البليستوسين :

بدأ العلماء الأوربيون منذ عام ١٨٢١م في تعرف معالم وخصائص التثلج في أماكن بعيدة عن أي مثالج حالية. وتوصلوا إلي أن المثالج قد غطت يوما ما مناطق شاسعة. أن مفهوم العصر الجليدي أخذ ينتشر تدريجيا على مدى واسع من خلال عمل عدد من الجيولوجيين. واليوم تمدنا دراسة العصور الجليدية بالأدلة على التغيرات المناخية السريعة على مستوى الكرة الأرضية، وبمعلومات عن كيفية استجابة الأنظمة الطبيعية والبيولوجية الطبيعية لتلك التغيرات. كما أنها تعطينا أيضا معلومات مهمة عن سلوك المثالج، وبالتالي المساعدة في فهم بعض العمليات الطبيعية الأساسية في الأرض والوشاح العلوي.

أ – مثالج العصر الجليدي :

حين دخلت الأرض حقب الحياة الحديثة Cenozoic Era المتأخر أخذ المناخ يبرد ترديجيا وببطء على امتداد عشرات الملايين من السنين. وقد تعرضت الأرض خلال حين البليستوسين الذي يشمل المليونين الأخيرين من تاريخ الأرض لعدد من الدورات الجليدية – بين الجليدية، والتي تخللت اتجاه المناخ نحو البرودة بشكل عام على المدى الطويل. الحد الأقصى للدفء في هذه الدورة، ليبدأ الهبوط في درجة الحرارة لنصل إلي عصر جليدي جديد، والذي سوف يبلغ ذروته خلال عدة آلاف من السنين في المستقبل.

وقد تكون فريش جليدي شاسع فوق شرق كندا منذ حوالي ٣٠٠٠٠ ألف سنة مضت في أواخر البليستوسين، ثم بدأ في الانتشار نحو الجنوب ناحية الولايات المتحدة وغربا تجاه جبال روكي . وفي الوقت نفسه، نشأ فريش جليدي آخر فوق الأراضي المرتفعة من اسكندنافيا وانتشر جنوبا وعبر شمال غرب أوروبا حيث غمر صفحة الأرض . كما تكونت فرش جليدية شاسعة أخرى وانتشرت فوق المناطق القطبية الشمالية من شمال أمريكا وأوراسيا، والتي تضم بعض المناطق المغمورة الآن ببحار قطبية ضحلة، وكذلك فوق سلاسل جبال غرب كندا. ولقد نمت عبر مناطق

الرفوف القارية المجاورة، والتي اكتشفت نتيجة انحسار سطح البحر. وتكونت أيضا مثالج في سلاسل الجبال الرئيسية في العالم، والتي تشمل جبال الألب، والأنديز والهيمالايا وروكي، بالإضافة إلي عدد أصغر من المدود الجبلية، وعلى القمم المنعزلة المتناثرة حول العالم.

هذا، وقد بلغت مساحة المثالج في العصور السابقة أكثر من ٤٤ مليون كم٢ تمثل حوالي ٢٩% من مساحة اليابس على الكرة الأرضية بينما يغطي جليد المثالج حاليا حوالي ١٠% فقط من مساحة سطح اليابس على الأرض، يقع ٨٤؟% من هذه المساحة في المنطقة القطبية الجنوبية.

ب – تحولات المجاري المائية والبحيرات الجليدية :

تتسبب الفرش الجليدية فوق القارات في تمزيق الأنهار (أنظمة المجاري المائية الرئيسية). وقد تسبب التجاوز المتكرر للفرش الجليدية في زمن البليستوسين في تغيير مسارات أنهار ميسوري وأوهايو في أمريكا الشمالية إلي مسارات جديدة خارج حواف الجليد. وقد تكونت بحيرات تحدها سدود جليدية، عندما سدت المثالج مجاري وممرات الصرف الموجودة قبل التثلج. كما تغيرت مواقع وأحجام البحيرات الواسعة التي يحدها الجليد، والتي تكونت خارج حدود الفريشة الجليدية المتندة في شرق أمريكا الشمالية، نتيجة تراجع المثلجة. كما تكونت بحيرات كبيرة يحفها الجليد في شمال آسيا أيضا عندما تحرك الجليد في اتجاه الجنوب في غرب سيبريا وتسبب في تمزيق وسد مجاري الأنهار الرئيسية المنسابة ناحية الشمال.



- صورة لبحيرات Plitvice المجمدة في كرواتيا.

ج – انخفاض مستوى سطح البحر:

عندما تتكون مثالج كبيرة على اليابسة، فإنها تستمد المياه اللازمة لتكونها واستمرارها من المحيطات. ونتيجة لذلك، ينخفض مستوى سطح البحر في تناسب مع حجم الجليد المتكون على اليابسة. وقد انخفض مستوى سطح البحر في العالم حوالي ١٠٠متر على الأقل خلال أحدث العصور الجليدية، مما أدى إلي ظهور امتدادات كبيرة من الرفوف القارية الضحلة كأرض جافة.

وفي هذا الوقت كان شاطئ المحيط الأطلنطي للولايات المتحدة جنوب نيورك يبعد حوالي ١٥٠كم شرق وضعه الحالي. وفي الوقت نفسه، أدى انخفاض مستوى سطح البحر إلي اتصال بريطانيا بفرنسا عند المنطقة التي يشغلها القنال الإنجليزي الآن، كما كونت أمريكا الشمالية وآسيا كتلة أرضية متصلة عبر ما يعرف الآن بمضيق بيرنج Bering Strait . وقد عملت هذه المناطق اليابسة وغيرها على انتقال الحيوانات والنباتات والإنسان بحرية بين مناطق اليابس التي تفصلها الآن مياه المحيطات.

د – تشوه القشرة الأرضية :

لقد سبب وزن الفرش الجليدية الضخمة هبوط قشرة الأرض الموجودة أسفلها، ويعنى الفرق في الكثافة بين صخور القشرة الأرضية (حوالي ٢,٧جم/سم٣) وجليد المثلجة (حوالي ٠,٩جم/سم٣) أن القشرة الأرضية أسفل فريشة جليدية سمكها حوالي ٣كم قد تسبب هبوط القشرة الرضية بمقدار ١كم تقريبا.

هـ - التثلجات المبكرة:

كان يظن حتى وقت قريب أن الأرض تعرضت لأربعة عصور جليدية خلال البليستوسين. وقد اتضح أنه لابد من تغيير وجهة النظر التقليدية هذه عندما أثبتت دراسة الرسوبيات البحرية العميقة وجود تتابع سميك من رواسب المثالج. كما أظهرت تلك الدراسات أيضا أن أحدث هذه التثلجات، يضاهي أحدث رواسب المنجرفات المثلجية الشاسعة على اليابسة، بناء على تحديد العمر المطلق بالكربون المشع. وقد أظهر تحديد عمر هذه الرسوبيات البحرية والتي تكونت خلال ٨٠٠٠٠٠ سنة الأخيرة، أن متوسط عمر الدورانت الجليدية – بين الجليدية كان حوالي ١٠٠٠٠٠ سنة. أما بالنسبة للبليستوسين كله، فقد كشف النقاب عن أكثر من ٢٠ عصرا جليديا، بدلا من العصور الجليدية الأربعة التقليدية. وقد تحقق الجيولوجيون الآن من أن سجل التثلج على اليابسة غير كامل وبه عدد من علاقات عدم التوافق، بينما يحتوي عدد من البحار العميقة على سجل مستمر للترسيب.

١ – الدليل من قاع البحر :

تمدنا الرواسب البحرية العميقة بأدلة جيدة عن الدورات الجليدية – بين الجليدية ويظهر المحتوى الحفري لرواسب قاع البحر والتي أخذت من العينات الأسطوانية أثناء حفر الآبار وجود تغيرات متكررة في تركيب المجموعات النباتية والحيوانية في المياه السطحية من أشكال بين جليدية دافئة إلي أشكال جليدية باردة، ثم العودة إلي الأشكال بين الجليدية الدافئة مرة أخرى.

٢ – التثلجات قبل البليستوسين :

تم تعرف مثالج أقدم من البليستوسين بناءً على وجود صخر الحريث والزوز الجليدية على أسطح هذه الصخور. ويرجع عمر أقدم التثلجات المسجلة إلي حوالي ٢,٣بليون سنة مضت في دهر البروتيروزوي المبكر. كما حددت فترات جليدية أخرى في صخور البروتيروزوي المتأخر إلي الباليوزوي المتأخر (حقب الحياة القديمة). ويعتقد أنه حدث أكثر من ٥٠ تثلجا خلال حقب الباليوزوي التأخر فقط. المناطق التي غطاها الجليد في العصر الكربوني في جنوب غرب مصر، والتي كانت تمثل جزءا من قارة الجندوانا في ذلك الوقت.

– أسباب حدوث العصور الجليدية :

لقد أصبحت أسباب حدوث العصور الجليدية موضوعا لبحوث مستمرة منذ أصبح الجيولوجيون مقتنعين بأن الأرض قد تعرضت لتتابع من العصور الجليدية. ويحتاج الوصول إلي الحل نهائي لمشكلة العصور الجليدية ، تضافر كل جهود المتخصصين في فروع العلم المختلفة.

وفيما يلى استعراض لبعض أسباب حدوث العصور الجليدية:

أ – العصور الجليدية وتغير وضع القارات:

لقد أمكن التعرف في السجل الجيولوجي على تتابعات لعصور جليدية استمر كل منها عشرات الملايين من السنين. ويعتبر تغير المواقع الجغرافية ببطء هو أقرب الاحتمالات لتفسير النمط الخاص بتلك التتابعات.

ويشمل التغير فى المواقع الجغرافية:

(١) تحرك القارات نتيجة حركة ألواح الغلاف الصخري التي تحمل تلك القارات إلي خطوط العرض العليا أو يعيدا عنها.

(٢) تكون سلاسل جبلية عندما يتراكب لوح فوق لوح آخر وكذلك نتيجة تصادم القارات.

(٣) فتح وغلق الأحواض المحيطية والممرات البحرية بين كتل الأرض المتحركة.

وبالإضافة إلي ذلك، فإن المثالج تكون شاسعة على الأخص في الأماكن التي تمدها الرياح بالرطوبة والناتجة عن تبخير الماء من المحيط المجاور. واليوم، فإن ٨٤ بالمائة من جليد المثالج على الأرض يوجد في قارة أنتاركتيكا، حيث تكون درجات الحرارة دائما تحت درجة التجمد. والمثالج التي توجد عند خط الاستواء أو بالقرب منه تكون فقط عند الارتفاعات العالية للغاية.

وينكشف الآن في جنوب أمريكا وجنوب أفريقيا والهند واستراليا وأنتاركتيكا رواسب جليدية من حقب الحياة القديمة (الباليوزوي) المتأخر. وقد فسر وجود صخور التليت والصخور الجليدية الأخرى بأنها رواسب مثالج قارية غطت لعدة مرات أجزاء شاسعة من قارة جنوبية ضخمة تسمى الجندوانا Gondwanaland، والتي كانت تقع بالقرب من القطب الجنوبي. ونتيجة تكسر أجزاء كبيرة من الجندوانا وحركة هذه الأجزاء بعد ذلك ناحية الشمال فإن عديداً من الصخور الجليدية القديمة توجد الآن في مناطق قريبة من خطوط العرض المنخفضة .

ويشير اختفاء أي رواسب جليدية واسعة الانتشار في صخور حقب الحياة الوسطى (الميزوزوي) إلي أنه خلال ذلك الحقب تحركت معظم كتل اليابسة بعيدا عن المناطق القطبية إلي حيث كان المناخ معتدلا. وقد تحركت الكتل الأرضية إلي المناطق القطبية مرة أخرى أثناء حقب الحياة الحديثة (السينوزوي) المبكر، وكانت الحركات التكتونية بصدد رفع مساحات كبيرة من غرب الولايات المتحدة ووسط آسيا إلي ارتفاعات عالية. وفي حقب الحياة الحديثة المتوسط بدأت الأرض تتعرض مرة أخرى لعصر جليدي طويل آخر.

ب – العصور الجليدية والنظرية الفلكية :

أثبتت دراسة الرواسب الجليدية في العينات الأسطوانية البحرية أن العصور الجليدية وبين الجليدية قد تبادلت لمدة ٣ مليون سنة تقريبا. وقد مثل تحديد أسباب تلك العصور تحديا أساسيا لتقديم نظرية شاملة عن المناخ القديم..

وقد أظهر إعادة ترتيب وتحديد عمر التغيرات المناخية خلال العصر الرابع أن التقلبات المناخية خلال الدورات الجليدية وبين الجليدية تقابل بدرجة كبيرة التغيرات الدورية في مدار الأرض، وفي ميل محور الأرض. ويعضد هذا الدليل أن التغيرات الفلكية التي تحدد توزيع الأشعة التي تصل إلي سطح الأرض تتحكم في توقيت الدورات الجليدية وبين الجليدية.

ج – تركيب الغلاف الجوي :

على الرغم من أن التغيرات في مدار الأرض واتجاه محورها وترنحها تفسر توقيت الدورات الجليدية وبين الجليدية، إلا أن التغيرات في الطاقة الإشعاعية للشمس التي تصل إلي سطح الأرض تكون صغيرة جداً لتسبب وتشرح التغير في متوسط درجات الحرارة (من ٤ إلي ١٠ مئوية على الكرة الأرضية، والتي تقتضيها ضمنا الشواهد الجيولوجية والبيولوجية. ولذلك، فإن هناك عوامل أخرى يجب أن تؤخذ في الاعتبار، منها الانخفاض الطفيف في درجات الحرارة والناتج عن التغيرات المدارية، والذي يجب أن يترجم إلي تغير في درجة الحرارة يكفي لنشأة وحفظ الفرش الجليدية الضخمة في حين البليستوسين. ولا نعرف بالضبط كيف تم ذلك، ولكن من المرجح أن بعض هذه العوامل تتضمن التغير في التركيب الكيميائي وتغير نسبة الغبار dustiness في الغلاف الجوي والتغير في انعكاس الأشعة من سطح الأرض.

وتعتبر فقاعات الهواء في جليد المثلجة في الفرش الجليدية، والموجودة حاليا في أنتاركتيكا وجرينلاند، أنها عينات من الغلاف الجوي القديم. وتدل دراسة التركيب الكيميائي للهواء المحبوس، والذي يرجع تاريخه إلي أحدث عصر جليدي، أن الغلاف الجوي أثناء التثلج احتوى على نسبة أقل من ثاني أكسيد الكربون والميثان عما هو عليه الان. ويعرف هذان الغازان المهمان من بين غازات الدفيئة greenhouse gases (الدفيئة بيت زجاجي لزراعة النباتات). فعندما تكون نسبتهما عالية في الغلاف الجوي، فإنهما يسببان حبس الطاقة الإشعاعية المنبعثة من سطح الأرض. والتي تهرب إلي الفضاء في الأحوال الأخرى. ونتيجة لذلك، ترتفع درجة حرارة الغلاف الجوي السفلي، ويصبح مناخ الرض أكثر دفئاً. أما إذا كان تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون والميثان منخفضاً، كما كان الحال أثناء الأزمنة الجليدية، فإن درجة حرارة هواء سطح الأرض تنخفض. ويعتقد أن المستويات المنخفضة لهذين الغازين المهمين في الغلاف الأرضي خلال العصور الجليدية قد سببا انخفاضا في درجة الحرارة خلال العصور الجليدية بمقدار النصف تقريباً. ولذلك تلعب غازات الدفيئة دوراً مهماً في شرح كمية التغير في درجة حرارة الأرض في الماضي. وبالرغم من معرفتنا أن نسبة هذين الغازين قد انخفضت خلال الأزمنة الجليدية، إلا أننا لا نعرف على وجه التأكيد ما سبب هذا الانخفاض.

وقد أوضحت دراسة العينات الأسطوانية في الجليد أن كمية الغبار كان مرتفعة خلال العصور الجليدية. وقد حملت الرياح القوية الغبار الدقيق عند هبوطها عبر رسوبيات الاكتساح المتكونة في مجاري المياه التي تنساب من حافة المثلجة عند انصهارها، والأحواض الصحراوية الجافة. وقد أدت كمية الغبار العالقة في الغلاف الجوي لأن تكون السماء غائمة معظم الوقت. ويؤدي غبار الغلاف الجوي الدقيق إلي تفرق الأشعة المرسلة إلي سطح الأرض في القضاء، مما يؤدي أيضا إلي زيادة تبريد سطح الأرض. وعندما تدخل الأرض في العصر الجليدي، فإن مساحات كبيرة من سطح الأرض تتغطى باستمرار بالثلج وجليد المثالج. وتفرق أسطح انعكاس الثلج والجليد الأشعة إلي الفضاء، مما يؤدي إلي زيادة تبريد الغلاف الجوي السفلي. ويؤدي ذلك، بالإضافة إلي النسبة المنخفضة لغازات الدفيئة وزيادة غبار الغلاف الجوي إلي زيادة واتساع المثالج وامتدادها.

<u>د – التغيرات في دوران المحيطات:</u>

يلعب دوران ماء المحيط دورا مهماً في مناخ الكرة الأرضية. فعندما يتبخر سطح الماء الدافئ المتحرك شمالا في شمال المحيط الطلنطي، فإن ملوحة الماء المتبقي تزداد ويصبح الماء أكثر برودة. ويكون الماء المالح البارد أكثر كثافة ويغوص بعمق في لمحيط. وتحافظ الحرارة المنبعثة إلي الغلاف الجوي نتيجة تبخر الماء، على أن يكون المناخ معتدلا نسبياً في شمال غرب أوروبا.

<u>ولننظر ماذا يحدث إذا توقف هذا الدوران؟</u>

وعموما، فإن معدل دوران مياه المحيط العميق يكون حساساً لملوحة ماء السطح في المواقع التي يتكون فيها الماء عالي الكثافة. وقد أوضحت الدراسات أنه خلال أزمنة انخفاض الملوحة، فإن

حركة دوران مياه المحيط العميقة تنخفض. ولذلك فإنه يمكن افتراض أنه عندما تقل الطاقة الإشعاعية عند بداية التثلج، فإن المحيط والغلاف الجوي يبرد عند خطوط العرض العليا (بالقرب من المناطق القطبية) مما يؤدي إلي انخفاض التبخر وزيادة اتساع جليد البحر. وتؤدي عذوبة المياه السطحية عند خطوط العرض العليا إلي وقف تكون ماء مالح عالي الكثافة، ولذلك يتوقف نظام الدوران الرأسي لمياه المحيط. ويؤدي انخفاض التبخر عند خطوط العرض العليا إلي انخفاض ملحوظ في انطلاق الحرارة إلي الغلاف الجوي، ولذلك تبقى كتل الهواء البارد المتحركة في اتجاه الشرق عبر شمال الأطلنطي. وتؤدي زيادة البرودة نتيجة الغطاء الجليدي في البحر الممتد في شمال الأطلنطي والفرش الجليدية النامية فوق القارات، إلي أن يزداد مناخ أوروبا برودة، مما يؤدي في النهاية إلي تكون أرض دائمة التجمد طوال السنة (تربة الصقيع الدائم permafrost)، في نطاق كبير خلف حدود الفريشة الجليدية. وهكذا، فإن التغير في نظام دوران المحيط يؤدي إلي زيادة التأثير المنخي المحدود نسبيا، والذي يرجع إلي التغيرات الفلكية. وعلاوة على ذلك، فإنه يساعد في تفسير مناخ الكرة الأرضية المتقلب بين حالتين مستقرتين نسبيا – واحد يعمل خلالها نظام دوران المحيط (خلال الأزمنة بين الجليدية) وأخرى يتوقف فيها هذا النظام (خلال أزمنة التثلج).

صور للجليد:



- هذه صورة لكتلة الجليد **Briksdal** ، والتي قد تكون جزء من الكتلة الجليدية **Jostedalsbreen ice** والتي تعتبر أكبر كتلة على أرض أوروبا.



- بحيرة **Baikal** هي أقدم واعمق بحيرة على كوكب الأرض، ويقول المتخصصون أن عمرها ربما يقارب ٢٥٠٠٠٠٠٠ سنة او أكثر ومتوسط عمقها ٧٤٤,٤ متر (٢،٤٤٢ قدم).



فصل الشتاء في جنيف - سويسرا .



هذه صورة لرقاقات الثلج التي تمتد من الأرض إلى السماء، وهذه بالطبع مختلفة تماما عن سياج الأشجار الذي يمكن أن تراه على الطريق، ولذلك يتوقف دائما السائقين والمشاة للمشاهدة والإعجاب بهذا التكوين الثلجي الرائع.



غطاء الجبل الجليدي















الفصل الرابع عشر: الرياح والصحاري



تغطي المناطق الصحراوية الحارة حوالي ٤٢ مليون كيلو متر مربع من سطح الأرض، وهو ما يمثل مايزيد عن ٣٠% من المساحة الكلية لسطح الأرض. وتشمل معظم هذه المناطق، والتي تتميز بنقص المياه، **نوعين من المناخ** : هما المناخ الجاف arid والمناخ شبه الجاف semiarid. ويشترك المناخان في عديد من الخصائص.

فالمناخ شبه الجاف: يكون أعلى في نسبة الرطوبة، كما أنه يمثل منطقة انتقالية بين المناطق الجافة والمنطق الرطبة، ويتميز بنمو الحشائش. ويسمى الجغرافيون تلك المناطق شبه المدارية بالاستبس steppes أو البراري. وتكون معظم المناطق الجافة عبارة عن صحاري أو شبه صحاري، وتقع في المناطق المدارية وشبه المدارية بين خطي عرض ٢٠ و٣٠ شمالاً وجنوباً تقريبا . وتنمو في تلك المناطق الصحراوية الجافة بعض أنواع النباتات التي تتميز بقدرتها على تحمل الجفاف وزيادة الأملاح، كما تنمو لها جذور عميقة تمتد في التربة لتحتفظ بالماء، وتكون غالبا متباعدة عن بعضها . وتكون أوراق هذه النباتات صغيرة جدا حتى تقلل من فقد الماء أثناء عملية النتح.

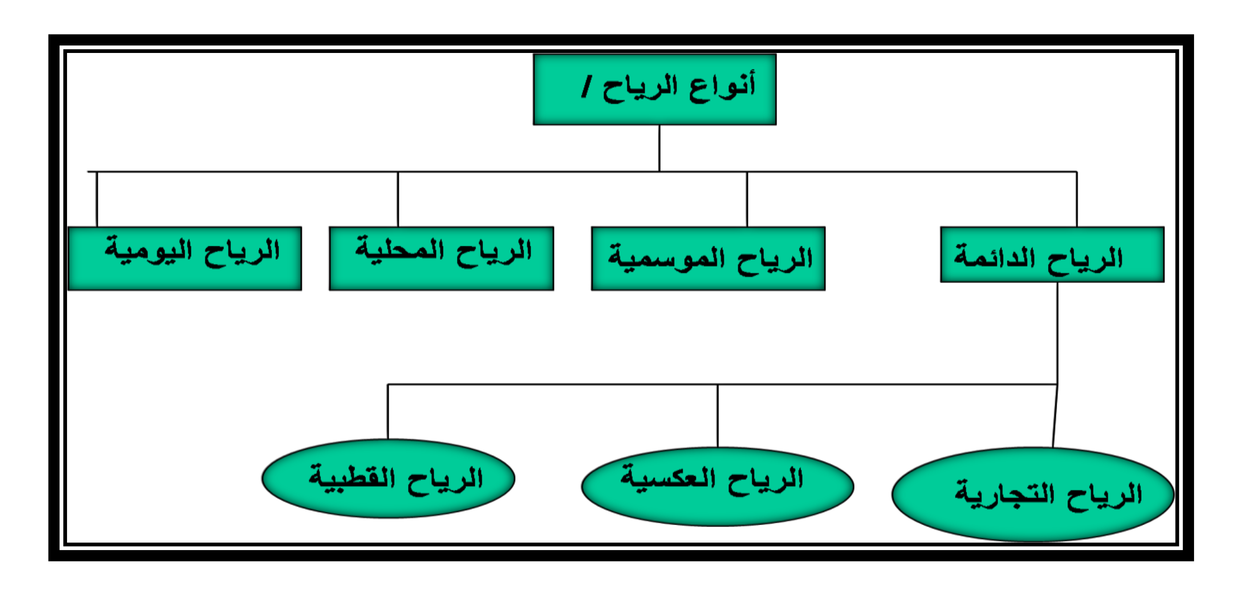
وتتميز المناطق الصحراوية الحارة بشدة تأثير الرياح، التي تكون شديدة أحيانا بما يكفي لأن تجعل حبيبات الرمل تدور في الهواء، كما نلاحظ أثناء السفر على الطرق الصحراوية بمصر وبمنطقتنا العربية عموماً. إلا أن تأثير الرياح يمتد أيضا إلي سائر مناطق العالم خاصة الساحلية منها.

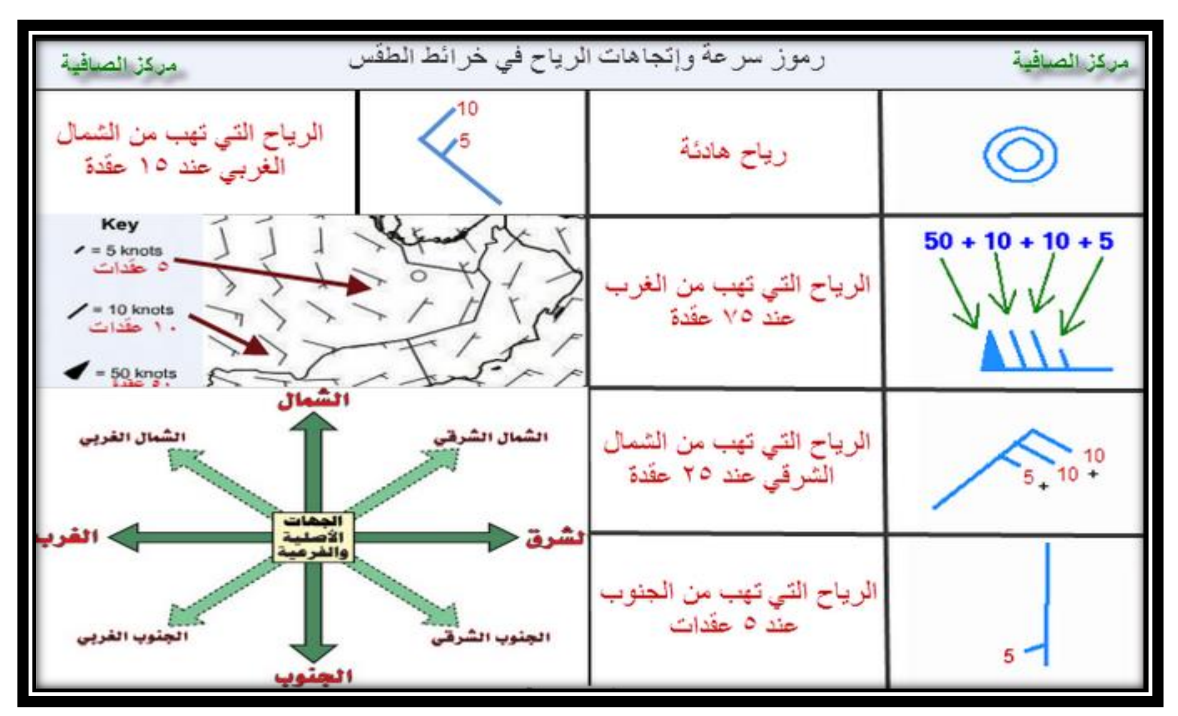
وتمثل الرياح قوة فعالة في تشكيل سطح الأرض، خاصة في الصحاري الحارة، رغم أنها تعتبر أقل عوامل التعرية تأثيراً في المناطق الرطبة. ويمكن أن يستمر هبوب الرياح لعدة أيام متصلة دون انقطاع تقريباً. فالرياح هى عامل التعرية الرئيسي في الصحاري. كما تعتبر عامل ترسيب رئيسياً أيضاً، حيث تقوم بنقل كميات ضخمة من الرمال والغرين والتراب لمسافات طويلة على القارات وفي المحيطات. ويستخدم الجيولوجيون مصطلح ريحي eolian لوصف العمليات الجيولوجية التي تقوم فيها الرياح بالدور الرئيسي. وتشبه الرياح المياه في قدرتها على التعرية والنقل والترسيب، حيث تخضع حركة الغازات للقوانين نفسها التي تحكم حركة السوائل. ومع ذلك، فهناك بعض الفروق التي تجعل قوة الرياح أقل تأثيراً من تيارات المياه.

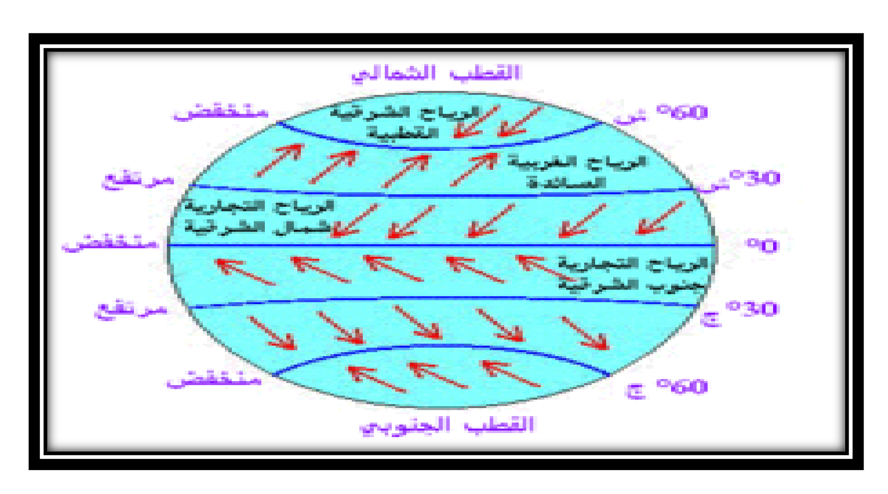
وسنتناول في هذا الفصل عمل الرياح، بإضافة للصحاري الموجودة على الكرة الأرضية، حيث ترتبط الكثير من العمليات الجيولوجية كالتعرية والنقل والترسيب في الصحاري بعمل الرياح، علاوة على أن الصحاري تغطي معظم العالم العربي. وعلى الرغم من أن تأثير الرياح يكون أكثر أهمية في المناطق الصحراوية، إلا أنه لا ينحصر في تلك المناطق فقط . فتؤثر الرياح على عديد من الشواطئ حيث تحمل الرياح الرمال المفككة من الشاطئ لتنقلها إلي المناطق الداخلية. وسنعرض في نهاية هذا الفصل لعملية التصحر والتي تسبب عديداً من المشكلات الاقتصادية لبعض البلاد، خاصة في عالمنا العربي.

<u>المقصود بالرياح:</u> هو الحركة الطبيعية للهواء سواء أكانت بطيئة أو سريعة والعامل الرئيسي لهبوب الرياح هو اختلاف الضغط الجوي من مكان إلى آخر. وتهب الرياح دائمًا من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض القريبة منها.



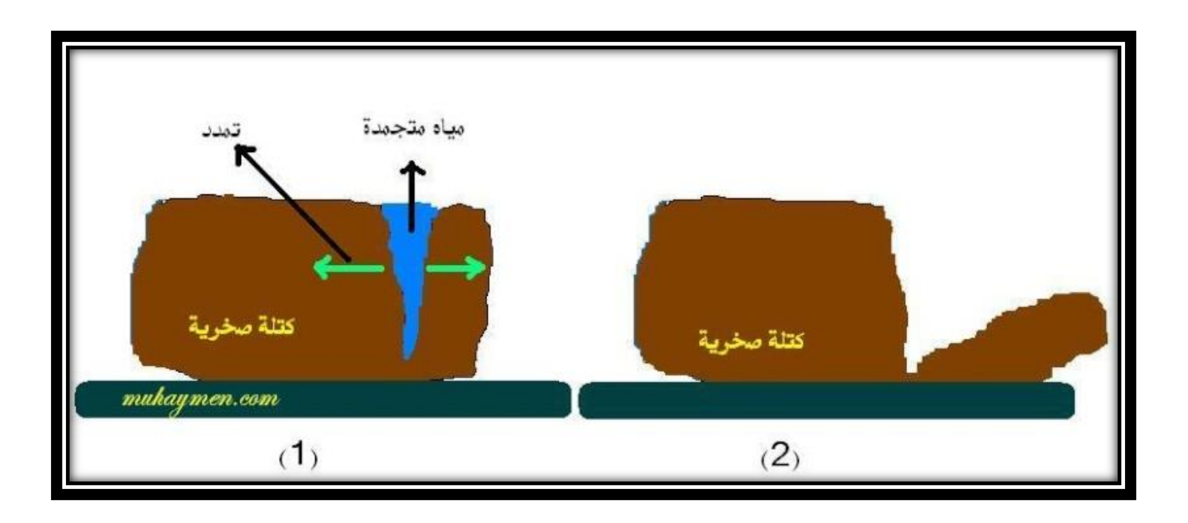

أنواع الرياح /
الرياح الدائمة
الرياح الموسمية
الرياح المحلية
الرياح اليومية
الرياح التجارية
الرياح العكسية
الرياح القطبية


مركز الصافية
رموز سرعة وإتجاهات الرياح في خرائط الطقس
مركز الصافية
رياح هادئة
الرياح التي تهب من الشمال الغربي عند ١٥ عقدة
10
5
50 + 10 + 10 + 5
الرياح التي تهب من الغرب عند ٧٥ عقدة
Key
= 5 knots
٥ عقدات
= 10 knots
١٠ عقدات
= 50 knots
الرياح التي تهب من الشمال الشرقي عند ٢٥ عقدة
الشمال
الشمال الغربي
الشمال الشرقي
الغرب
الشرق
الجهات الأصلية والفرعية
الجنوب الغربي
الجنوب الشرقي
الجنوب
الرياح التي تهب من الجنوب عند ٥ عقدات

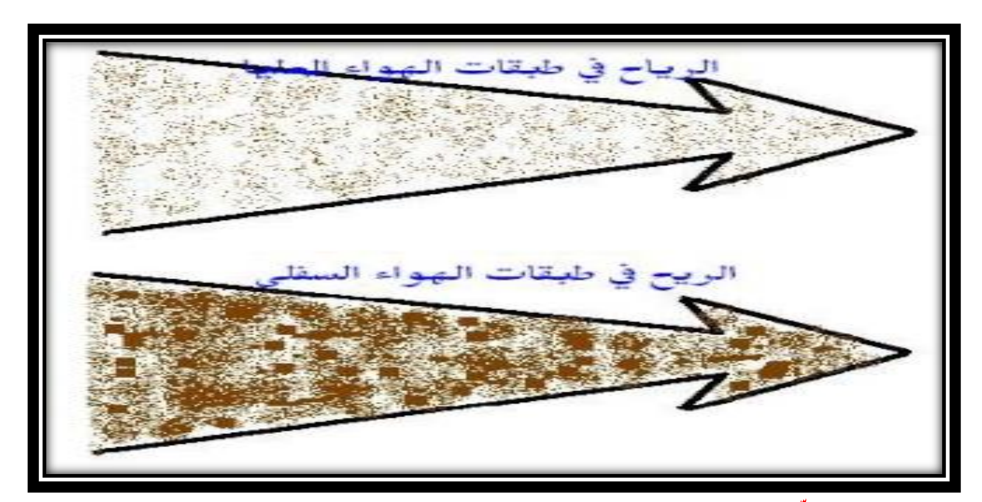

القطب الشمالي
منخفض
60° ش
الرياح الشرقية القطبية
مرتفع
الرياح الغربية السائدة
30° ش
الرياح التجارية شمال الشرقية
منخفض
0°
الرياح التجارية جنوب الشرقية
مرتفع
30° ج
منخفض
60° ج
القطب الجنوبي

ـ العمل الجيولوجي للرياح:

يتكون الغلاف الجوي من خليط من الغازات التي نطلق عليها جمعا اسم الهواء air. أما الرياح winds فهي انسياب الهواء موازياً لسطح الكرة الأرضية دائمة الدوران. ويكون الغلاف الجوي في حركة دائمة، حيث نشعر بهذا عند هبوب نسمة لطيفة أو ريح قوية. وعلى الرغم من أن الرياح تحكمها كل قوانين انسياب السوائل التي تطبق على انسياب الماء في المجاري المائية، إلا أنه توجد بعض الاختلافات بينهما. فالرياح لا يحكمها عموماً حدود صلبة تمنع تدفق الهواء خلالها، ما عدا سطح الأرض والوديان الضيقة، عكس الماء المنساب في مجاري الأنهار، كما يتحرك الهواء في كل الاتجاهات، بما في ذلك الحركة الرأسية في الغلاف الجوي.



أين يظهر عمل الرياح؟ في المناطق الصحراوية الحارة، والساحلية. أين ينشط الحت الريحي قرب سطح الأرض؟ لأن المواد التي تحملها الرياح تكثر في طبقات الهواء السفلى.



ما العوامل المؤثّرة في الحت الريحي؟ شدة الرياح التي تزيد من قدرتها على الحمل. طبيعة الصخور فالحت في الصخور اللينة أشد منه في الصخور الصلبة. خلو المنطقة من الغطاء النباتي.

أ – نظام الرياح على كوكب الأرض :

لكي نشرح لماذا تكون الرياح مؤثرة كعوامل جيولوجية في بعض المناطق دون غيرها، فإننا نحتاج لمناقشة كيف ترتبط الرياح على سطح الأرض بالحركة الدائمة للغلاف الجوي على الأرض. ويكون انسياب الهواء على سطح الأرض انسيابا مضطرباً turbulent أي في مسارات غير منتظمة، كما هو الحال في انسياب الماء في الأنهار. ويعتمد الانسياب المضطرب للسائل على ثلاثة خصائص للسائل وهى: **كثافته ولزوجته وسرعته. وتسبب كثافة ولزوجة الهواء،** واللتان تكونان منخفضتان للغاية (٠,٠٠١، ٠,٠٢ من كثافة ولزوجة الماء على التوالي) اضطرابه حتى عند النسيم الخفيف.

ويزداد انسياب الهواء اضطرابا كلما زادت سرعة تحركه، كما هو الحال في الانسياب المضطرب للماء. فيحرك النسيم اللطيف الحشائش الطويلة بوضوح، بينما ترفع الرياح العاصفة غطاء الرأس، وتهز الزوبعة القوية سيارة متحركة. ويؤدي الانسياب المضطرب أيضا إلي تغيرات مفاجئة في سرعة واتجاه الريح، وقد تكون مثل هذه التغيرات قوية بدرجة تكفي لاهتزاز طائرة كبيرة. ويؤدي التغير في الإشعاع الشمسي مع تغير خط العرض وتأثير كوريولي (انحراف اتجاه الرياح نتيجة دوران الأرض) وتوزيع القارات والمحيطات ومواقع السلاسل الجبلية إلي نشأة الرياح والتحكم في اتجاهها وأحزمتها.

١ – نمط الرياح فوق سطح الكرةالأرضية :

تعتبر الشمس المصدر الرئيسي لحرارة الغلاف الجوي وسطح الأرض. وتمتص كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي عند حزام خط الاستواء المواجه للشمس، والذي يمتد إلي خط عرض ٣٠ شمالا وجنوباً (خط العرض latitude هو المسافة شمال أو جنوب خط الاستواء مقاسة بالزاوية التي يحددها نصف قطر الكرة الأرضية مع نصف القطر الاستوائي عند أي نقطة) . ويقع خط الاستواء عند خط عرض ٠ بينما يقع القطب الشمالي عند خط عرض ٩٠. وتستقبل خطوط العرض القطبية كميات قليلة جدا من الطاقة الشمسية، حيث تكون أشعة الشمس مائلة مما يؤدي إلي انتشارها على مساحة أكبر من سطح الأرض، كما أن طول المسافة التي تقطعها تلك الأشعة في الجو يجعل طاقتها محدودة أيضا. ويؤدي هذا التباين في درجات الحرارة إلي أن تنتقل بعض الحرارة الزائدة عند الحزام الاستوائي الذي تحده خطوط عرض منخفضة، إلي المناطق القطبية التي تحدها خطوط العرض العليا. وينساب الهواء البارد صوب خط الاستواء، بينما تتحرك الرياح الساخنة صوب الأقطاب، لتنقل الكثير من الحرارة، خاصة المحمولة في بخار الماء. وينعكس هذا الانتقال للطاقة غالبا في صورة كتل الهواء المتحركة على شكل أعاصير شديدة.

وعندما تصعد كتلة الهواء الساخنة وتتمدد، فإنها تصبح أقل كثافة، وذات ضغط منخفض، وتسبب عملية التمدد برودة الهواء، وهى عملية أدياباتية adiabatic process، حيث تتغير درجات الحرارة دون فقد أي حرارة. ويرجع السبب في ذلك، إلي أن كمية الحرارة الكلية تبقى ثابتة، إلا أنها تنتشر خلال حجم أكبر من الهواء، ولذلك تنخفض درجة حرارتها.

وعندما تهبط كتلة الهواء الباردة المرتفعة وتنضغط، فإنها تصبح أكثر كثافة وترتفع درجة حرارتها أثناء الهبوط. ولا تتغير كمية الحرارة في كتلة الهواء الهابطة، ولكن لأنها تنضغط في حجم أصغر، فإن درجة الحرارة ترتفع، وهذه أيضا عملية أدياباتية. وهكذا تؤدي التأثيرات الأدياباتية إلي تبريد كتل الهواء أثناء تمددها، وارتفاع درجة حرارتها أثناء ضغطها.

ويستجيب الغلاف الجوي بسرعة للإشعاع الشمسي، حيث يصعد الهواء الدافئ ويهبط الهواء البارد. وتنساب كتلة الهواء من الضغط العالي إلي الضغط المنخفض بحثا عن وضع الاتزان. ولكن تكون الحركة الرأسية للهواء قليلة، عند مقارنتها بالحركة الأفقية (بمعنى نشأة الرياح). ويتأثر انسياب الهواء بدرجة كبيرة بدوران الأرض وبتأثير كوريولي، الذي سيتم مناقشته لاحقا.

٢ – أحزمة الرياح:

يرجع السبب في تكون أحزمة الرياح wind belts إلي الحركة الدائمة للغلاف الجوي بسبب التغير في الإشعاع الشمسي مع تغير خطوط العرض. فالشمس تعمل على تدفئة سطح الرض الواقع حول خط الاستواء، حيث تكون أشعة الشمس عمودية تقريباً على سطح الأرض، بينما تعمل تلك الأشعة على تدفئة سطح الأرض بدرجة أقل عند خطوط العرض العليا والأقطاب، حيث تسقط أشعة الشمس مائلة بزاوية على سطح الأرض. وتصعد كتلة الهواء الساخن عند خط الاستواء إلي أعلى وتتمدد، وتصبح أقل كثافة من الهواء البارد عند خطوط العرض العليا والأقطاب. وتؤدي عملية التمدد إلي برودة كتلة الهواء، وهى عملية أدياباتية كما ذكرنا سابقا. ويسقط الهواء محتواه من الرطوبة المكثفة على هيئة أمطار فوق المنطقة الاستوائية.

وينتشر الهواء الباردة الجاف الموجود في طبقات الجو العليا شمالا وجنوبا، ليصبح أكثر انضغاطا، حيث ينساب ناحية خطوط العرض الأعلى ذات المساحات البينية الأصغر. وعند خط عرض ٣٠ شمالا وجنوبا تقريبا، يهبط الهواء الأكثر كثافة عند نطاق الضغط العالي شبه المداري semitropical high pressure zone، مما يؤدي إلي ارتفاع حرارة الهواء أدياباتيا أثناء هبوطه وعودته إلي سطح الأرض ككتلة هواء جافة دافئة. وينساب بعض الهواء الهابط ناحية القطبين كرياح تهب من الغرب، ولذلك تعرف بالرياح الغربية أو غربيات westerlies، بينما ينساب جزء من الهواء ناحية خط الاستواء كرياح تجارية تهب من الشرق . وقد يطلق مصطلح الرياح التجارية على تلك الرياح لدورها الهام في دفع السفن التجارية عبر المحيطات المدارية في الأوقات التي كانت فيها الرياح هى المصدر الرئيسي للقوى المحركة.

وتكون نسبة الرطوبة منخفضة في الهواء الدافئ المنساب من النطاق شبه المداري كرياح تجارية، ولذلك يكون من النادر تساقط الأمطار في تلك المناطق. وتكون الرياح الدافئة الجافة في الأحزمة شبه المدارية subtropical belts بين خطي عرض ٣٠ و٢٠ شمالا وجنوبا، مسئولة عن وجود عديد من الصحاري الكبرى في العالم، مثل الصحراء الكبرى في شمال أفريقيا، وككلهاري في أفريقيا، وسونوران في غرب أمريكا الشمالية واستراليا الكبرى والجزيرة العربية.

وينساب الهواء البارد فوق الأرض من كلا القطبين . وعندما تنساب كتل الهواء من الشرق ناحية الاستواء (الرياح الشرقية القطبية)، فإنها تنساب عبر مساحات أكبر بين خطوط العرض، وتصطدم عند خطي عرض ٦٠ شمالا وجنوبا تقريبا بكتل الرياح الغربية، وتصعد الكتلتان عند النطاق شبه القطبي المنخفض low subpolar.

ويتغير نمط الرياح فوق سطح الأرض نتيجة وجود الكتل القارية، والتي تشمل سلاسل الجبال، بالإضافة إلي التسخين والتبريد الموسميين، واللذين يؤثران على نصفي الكرة الشمالي والجنوبي.

<u>٣ – تأثير كوريولي :</u>

يتأثر النمط البسيط لدوران الهواء بين خط الاستواء والأقطاب بدوران الكرة الأرضية، مما يسبب انحراف أي جسم متحرك (تيار هواء أو ماء) إلي يمين اتجاه الحركة في نصف الكرة الأرضية الشمالي وإلي يسار اتجاه الحركة في نصف الكرة الجنوبي. ويسمى هذا التأثير على اتجاه الهواء فوق سطح الرض تأثير كوريولي coriolis effect، نسبة إلي مكتشفه عالم الرياضيات الفرنسي جاسبار كوريولي Gaspard coriolis في القرن التاسع عشر.

ويتغير تأثير كوريولي بتغير خط العرض وسرعة الجسم المتحرك. ويرجع تأثير خط العرض إلي تغير السرعة الزاوية angular velocity، وهى السرعة الناتجة عن دوران الأرض، والتي تكون أقل ما يمكن عند خط الاستواء وأكبر ما يمكن عند القطاب. وبذلك يكون تأثير كوريولي أقصى ما يمكن عند القطاب، ويصل إلي الصفر عند خط الاستواء.

وتسمى العجلة الزاوية angular acceleration التي يحتاجها جسم متحرك لكي يبقى في مساره ولا يتأثر بدوران الأرض بعجلة كوريولي. ونظرا لغياب هذه العجلة الزاوية أو عدم كفايتها، فيحدث انحراف في مسار الجسم المتحرك إلي يمين اتجاه الحركة في نصف الكرة الرضية الشمالي، وإلي يسار اتجاه الحركة في نصف الكرة الأرضي الجنوبي ، والذي يسمى كما سبق أن ذكرنا بتأثير كوريولي.

ويؤدي تأثير كوريولي على دوران الغلاف الجوي إلي انحراف كل من انسيابات الهواء الشمالية والجنوبية والباردة والساخنة. فعلى سبيل المثال، عند عند ما تهب رياح سطحية ناحية الجنوب في الحزام الاستوائي الساخن في نصف الكرة الشمالي، فإن الرياح تنحرف إلي اليمين، ويهب حينئذ من الشمال الشرقي بدلا من الشمال. وهذه هى الرياح التجارية الشمالية. وبالمثل، فإن الرياح الغربية في نصف الكرة الشمالي، هى في الأصل رياح متجهة ناحية الشمال، وانحرفت ناحية اليمين وأصبحت بذلك تهب من الجنوب الغربي. أما بالقرب من خط الاستواء، فإن الهواء يصعد لأعلى، وبذلك تكون هناك رياح قليلة عند سطح الرض ويبرد الهواء أثناء صعوده، مما يسبب في تواجد السحب والمطار الغزيرة عند المناطق الاستوائية.

٤ – تاثير السلاسل الجبلية :

بالإضافة إلي المناطق التي تقع فيها الصحاري بين خطي عرض ٢٠ و٣٠ شمالا وجنوبا تقريبا، فإن بعض الصحاري الأخرى تقع خلف سلاسل الجبال العالية ، والتي تعترض الهواء المحمل بالرطوبة. وعندما يجبر الهواء على أن يرتفع فوق سلسلة الجبال، فإنه يتمدد ويبرد ويسقط حمولته من الرطوبة على هيئة أمطار على جانب الجبال المواجه للريح. ويتم هنا أيضا تسخين الهواء الهابط بالضغط. ويؤدي الهواء الجاف الذي يصل إلي الجانب المدابر lee side لسلسة الجبال، حيث تعرف تلك المنطقة بصحراء ظل المطر rainshadow desert. ومن المثلة الجيدة على وجود مناطق جافة في ظل المطر أجزاء من الصحراء جنوب غرب الولايات المتحدة في نيفاذا وشمال أريزونا، والتي تقع في ظل المطر لسلسلة جبال سيرا نيفادا شرق كاليفورنيا وصحراء وسط آسيا.

ب – حركة الرواسب بالرياح :

تحدث الأعاصير والتيفونات (الأعاصير المدارية) typhoonsدمارا هائلا بسبب سرعة الرياح التي تصل عندئذ إلي حوالي ١٢٠كم/الساعة، وقد تزيد لتصل إلي ٥٠٠كم/الساعة. وتكون قوة الرياح كبيرة لدرجة أنها تقتلع الأشجار من جذورها وتهدم المنازل، وتقذف الأجسام الكبيرة الحجم إلي مسافات بعيدة. ولحسن الحظ، فإن رياح الأعاصير استثنائية، ولكنها على الرغم من خطورتها فإنها تقدم صورة لقوة الرياح كعامل جيولوجي.

ولا يستطيع الهواء أن ينقل حبيبات كبيرة مثل تلك التي ينقلها الماء عند السرعة نفسها، نظرا لأن كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر أقل بكثير جدا من كثافة الماء كما ذكرنا. ولكن عندما تزيد سرعة الرياح عن ٣٠٠كم/الساعة، فإنها تستطيع حمل حبيبات من الصخر يصل قطرها إلي عدة سنتيمترات إلي ارتفاعات قد تصل إلي متر أو أكثر. ولكن نادراً ما تزيد سرعة الرياح في معظم المناطق عن ٥٠كم/الساعة. وتستطيع تلك الرياح القوية أن تحمل حبيبات الرمل التي تتعلق في الهواء، بينما تهبط الحبي\بات الأكبر حجما بسرعة ولا تبقى معلقة في الهواء. وعندما تكون سرعة الهواء أقل، تنتقل حبيبات الرمل بالقرب من سطح الرض، بينما يتحرك التراب dust فقط عالقا في الهواء.

١ – نقل الرمال بالرياح :

إذا هبت الرياح على طبقة من الرمل، فإن حبيبات الرمل تبدأ في التحرك عندما تكون سرعة الرياح أقل من ١٦كم/الساعة. وتسمى حركة دحرجة حبيبات الرمل للأمام بالزحف السطحي . وترتفع حبيبات الرمل في الهواء عندما تزداد سرعة الرياح، حيث تنتقل حبيبات الرمل في مسارات مقوسة لتترسب بعد مسافة قصيرة في اتجاه الرياح، وهذه هى عملية الوثب نفسها التي ذكرت في المجاري المائية، حيث تتحرك حبيبات الرمل وتسير في مسارات مقوسة أيضا بالقرب من قاع النهر.

- **الوثب:** ينقل ما يقرب من ٧٥% من الرمال في المناطق المغطاة بالكثبان الرملية بالوثب . وتدل قياسات معدل تحرك الرمال في صحاري منطقة الشرق الأوسط على زيادة سرعة حركة الرمال مع زيادة سرعة الرياح. فقد تستطيع رياح قوية تهب بسرعة حوالي ٥٨كم/الساعة نقل كمية من الرمال في يوم واحد كتلك التي تنقلها رياح تهب بسرعة ٢٩كم/الساعة في ثلاثة أسابيع.

فإذا كانت الرياح قوية بدرجة كافية، فإنها تبدأ في دحرجة حبيبات الرمل على سطح الرض حيث تصطدم بحبيبة أخرى وتصطدم بها لتطير في الهواء. وعندما تهبط الحبيبة الثانية إلي الأرض فإنها تصطدم بحبيبات أخرى وتقذف بها لتنساب في الهواء. ويحتوي الهواء القريب من الأرض على كمية كبيرة من حبيبات الرمل الواثبة، والتي تتحرك كلها في اتجاه الريح في مسارات على هيئة أقواس تشبه حركة كرات البنج بونج فوق منضدة اللعب. وعموما لا يزيد الارتفاع الذي تصل إليه حبيبات الرمل عن متر واحد حتى في الرياح القوية. وقد تصطدم حبيبات الرمل بحبيبات حصى أو أي سطح عريض لتثب لأعلى بسرعة عالية، وإلي ارتفاعات أكبر.

- **نيم الرمال (مويجات الرمال):** تكون تجمعات الرمل جيدة الفرز التي تتراكم على سطح الرض غير ثابتة، حتى تحت تاثير الرياح اللطيفة. وعندما تهب الرياح على هذا التجمع الرملي، فإن حبيبات الرمل الأصغر تتحرك بالوثب، بينما تبقى الحبيبات الأكبر حجما مكانها. وعندما تصطدم الحبيبات المتحركة الأدق حجما بسطح الأرض، فإنها تحرك حبيبات دقيقة إضافية، ويتكون تجمع آخر من الحبيبات الخشنة، بينما تتحرك الحبيبات الدقيقة إلي الأمام، وتكون الحبيبات الخشنة مجموعة من المرتفعات الطولية الصغيرة تسمى نيم الرمال (مويجات الرمال) . وتميل مويجات الرمل إلي الاصطفاف في نمط منتظم، حيث تكون قمم هذه المويجات عمودية على اتجاه الريح . وتختفي المويجات عند هبوب رياح قوية، حيث تتحرك كل الحبيبات وتقل عملية الفرز.

<u>٢ – نقل التراب بالرياح :</u>

تنتقل حبيبات الرمل على سطح الأرض ببطء، وتترسب بسرعة عندما تنخفض سرعة الريح، بينما تنتقل حبيبات التراب dust الدقيقة (راسب في حجم حبيبات الغرين والصلصال) بسرعة أكبر ولمسافات أطول بكثير، قبل أن تهبط إلي سطح الأرض. وتصل كمية التراب المتكونة سنويا بهذه الطريقة على مستوى العالم إلي حوالي ٥ بلايين طن. ومن المناطق التي تتكون فيها كميات كبيرة من التراب طبقات البحيرات والمجاري المائية الجافة والمراوح الطميية وسهول المجاري المائية الناتجة من المثالج والمناطق التي تغطيها رواسب من التراب، والتي فقدت غطاءها النباتي بسبب تغيرات مناخية أو نشاط بشري.

وتقل سرعة الهواء المتحرك بالقرب من سطح الأرض بدرجة كبيرة نتيجة الاحتكاك، حيث تكون سرعة الهواء منخفضة للغاية. وتوجد طبقة من الهواء الساكن يقل ارتفاعها عن ٠,٥مم فوق سطح الأرض مباشرة . وعندما تنتؤ حبيبات الرمل فوق طبقة الهواء الساكن هذه فإنها تطير عاليا بفعل الدوامات المضطربة المتصاعدة. وعلى العكس من ذلك، ذلك حبيبات التراب تكون صغيرة

الحجم ومرتبة بإحكام، لدرجة أنها تكون سطحا ناعما جدا، ولا تنتؤ حبيباته فوق طبقة الهواء الساكن. ولا يمكن أن يتحرك هذا التراب حتى إذا هبت عليه رياح قوية، إلا أنه يمكن تحركه فقط بأن تصدم به حبيبات رمل وثابة أو أي أجسام أخرى.

وعندما تصعد حبيبات التراب في الهواء، فإنها تكون الحمولة المعلقة suspended load للرياح. وتقذف الدوامات حبيبات التراب إلي الأمام باستمرار، بينما تعمل الجاذبية الرضية على جذبها ناحية الرض . وفي معظم الأحيان، يترسب الراسب المعلق بالقرب من مكان نشأته، إلا أن الرياح القوية المصاحبة للعواصف الترابية القوية تحمل التراب الدقيق جدا إلي طبقات الجو العليا، حيث ينتقل لآلاف الكيلومترات.

وتعتبر العواصف الترابية dust storms من العوامل الرئيسية في نقل كميات كبيرة من التراب، وهى تنتشر في المناطق المتسعة الجافة وشبه الجافة، مثل منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ووسط استراليا وغرب الصين وأواسط آسيا. ويترسب التراب عندما :

(١) تنخفض سرعة الرياح ويقل اضطراب الهواء بحيث لا تبقى الحبيبات معلقة في الهواء.

(٢) تصادم الحبيبات مع أسطح خشنة أو رطبة تصطاد تلك الحبيبات، أو أسطح بها شحنات كهربية ضعيفة تجذبها.

(٣) تجمع الحبيبات لتكون تجمعات aggregates حبيبة تترسب بسبب زيادة كتلتها.

(٤) غسل الحبيبات من الهواء بمياه الأمطار.

ويعمل الغطاء النباتي كمصيدة لحبيبات التراب الهابطة نتيجة انخفاض سرعة الرياح فوق المناطق المغطاة بالنباتات. وتكون الغابات أشد تأثيراً كمصيدة للتراب عن النباتات القصيرة الساق، حيث تعمل الشجار على خفض سرعة الرياح في النطاق الحرج فوق سطح الأرض. كما يحدث الترسيب أيضا عندما يوجد عائق طوبوغرافي يسبب تشعب الهواء وانحراف مساره، حيث يؤدي ذلك إلي انخفاض سرعة الرياح خلف العوائق. وذلك يفسر لماذا تكون رواسب التراب سميكة عموماً على الجانب المدابر lee side للعائق (الجانب البعيد عن الريح)، بينما يكون الترسيب قليلا أو منعدما في الجانب المواجه للريح windward side (الجانب الذي تهب منه الريح). وتترسب أولا حبيبات التراب الخشنة ومتوسطة الحجم المحمولة على ارتفاعات منخفضة، بينما تحمل الحبيبات الأدق لأعلى في الغلاف الجوي، ويمكن أن تبقى عالقة لفترات طويلة.

ج – التعرية بالرياح :

تعتبر الرياح القوية والمستمرة من عوامل التعرية المهمة، حين تكون الرض من تحتها جافة ولا تحتوي على غطاء نباتي. ويقوم الهواء المنساب والمحمل بالراواسب بتعرية الأرض بطريقتين هما التذرية (التجوية) والسحج (البري). أما التذرية (التجوية) deflation (من كلمة deflare اللاتينية بمعنى ينفخ أو يطير مع الريح) فهى اكتساح الهواء للأجزاء الجافة المفككة من الفتات الصخري والرمل والتراب ونقلها من مكان إلي آخر، والبري (السحج) abrasion هو تآكل الصخر ميكانيكيا نتيجة احتكاكه واصطدامه بحبيبات راسب تحملها الرياح. وتسمى الطريقة الثانية بسفع الرمال sandblasting، وتحدث عندما تكون الرياح المدفوعة في مواجهة سطح الصخر المكشوف محملة بالرمال.



صخر منحوت بفعل الرياح المحملة بالرمال، أريزونا.



تكوينات صخرية مكحوتة برمال الريح ومشكلة بحسب صلابة الطبقات ، صحراء النقب .

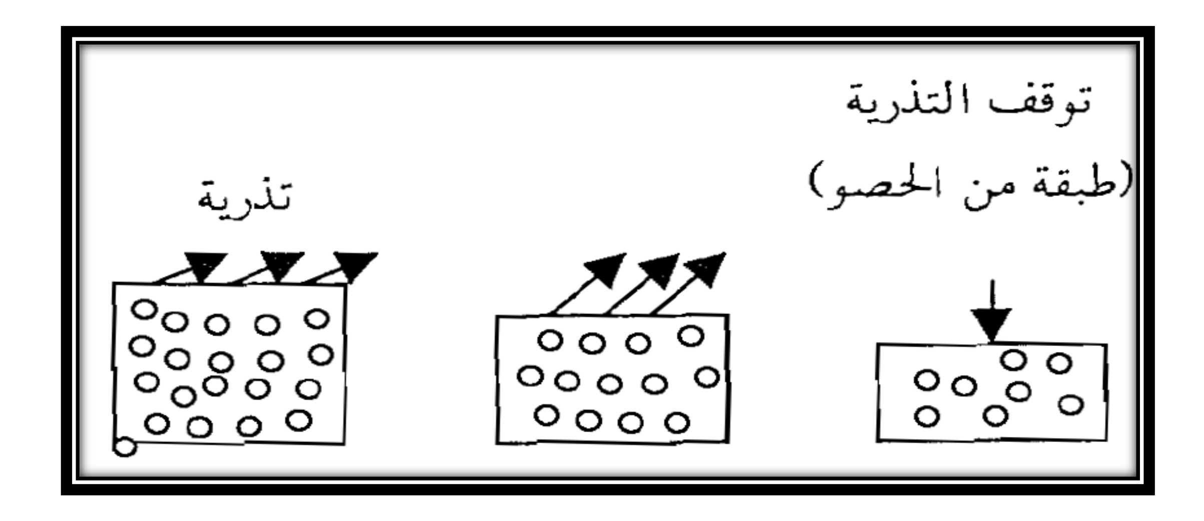
ونعرض هنا لوصف كل من هاتين الطريقتين:

١ – التذرية :

تؤدي عملية التذرية إلي نقل حبيبات التراب والغرين والرمل الجاف والمفكك من مكان إلي آخر، وبالتالي انخفاض سطح الأرض بشكل تدريجي في مناطق التذرية وارتفاعها في مناطق أخرى. ويمكن أن تؤدي التذرية إلي تكون منخفضات ضحلة أو أحواض تعرف بأحواض التذرية deflation basins أو المذريات blowouts (مفردها مذرى)، في الصحاري والسهول الجافة أو الطبقات الجافة الموجودة في البحيرات وسهول فيضان الأنهار. ويعطل وجود النباتات عملية التذرية في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تعمل جذور النباتات على التحام التربة ببعضها، بينما تصد سيقان وأوراق النباتات الرياح، وتعمل على حماية سطح الأرض.

ويتراوح قطر حوض التذرية بين عدة أمتار (من ٣ إلي ٦ أمتار) إلي كيلو متر تقريبا، كما قد يتراوح عمقه بين عدة أمتار و٥٠ مترا أو أكثر. ويرى بعض الجيولوجيين أن منخفض هائل يصل عمقه إلي حوالي ١٣٤ مترا تحت سطح البحر، قد ساهمت التذرية الشديدة في تكوينه، بالإضافة إلي العوامل التكتونية. وعموما، فإن المستوى الذي يصل إليه سطح التذرية يكون محكوما بمنسوب الماء الجوفي.

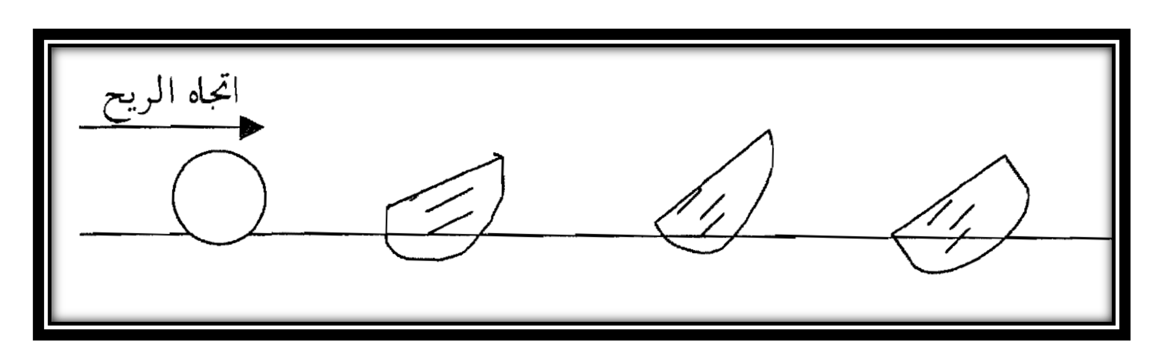
وعندما تزيل التذرية الحبيبات الدقيقة المكونة من الرمال والغرين والصلصال من التربة والرواسب، فإن السطح المتبقي يكون مغطى بحصى كبير الحجم يصعب نقله بالرياح. وتعمل التذرية المتوالية للمواد الدقيقة على مدى آلاف السنين على بقاء الحصى وتتكون طبقة أو غطاء مستمر من الأحجار يعرف بالرصيف الصحراوي desert pavement، حيث يعمل هذا السطح كدرع يحمي التربة والرواسب أسفله من أي عملية تعرية جديدة. ويعتقد بعض الجيولوجيين أن الرصيف الصحراوي قد يتكون بانسياب المياه من المطار الغزيرة وليس بالتذرية، كما قد يتكون بأسباب أخرى.



٢ – سفع الرمال:

يعرف سفع الرمال sandblasting بأنه عملية تعرية الصخر بفعل الرياح المحملة بالرمال عندما تضرب وجه الصخر. ويلاحظ المسافرون على الطرق الصحراوية في منطقتنا العربية تأثير الرياح المحملة بالرمال خاصة على زجاج السيارات الأمامي في الرحلات الطويلة. وتشبه عملية سفع الرمال عملية تنظيف المباني الأثرية والآثار باستخدام هواء مندفع تحت ضغط عال ومحمل بالرمال، والتي تشمل تآكل سطح صلد نتيجة اصطدام حبيبات مندفعة بسرعة عالية. ويحدث السفع بالرمال أساسا بالقرب من سطح الأرض، حيث تحمل معظم حبيبات الرمل. ويؤدي السفع بالرمال إلي تعرية ونعومة مكاشف الصخر والجلاميد والحصى والرمال وتخشين (صنفرة) أسطح القوارير (الأواني) الزجاجية.

والوجهريحيات ventifacts هى حصى مواجه للريح، تكونت بها عدة أسطح منحية أو مستوية تقريباً، تتقابل عند حروف حادة. وقد تكون كل وجه أوسطح صغير نتيجة سفع الرمال لجانب الحصى المواجه للريح windward side. وتؤدي العواصف أحيانا إلي دوران أوتقليب الحصى، مما يعرض جانب جديد منها لسفع الرمال. ويمكن استخدام الوجهريحيات لتحديد وقياس اتجاه الرياح السائدة، نظرا لأن الأسطح المستوية للحصى تتكون في مواجهة الريح .



والياردانج (حيدريحى) yardang (مشتقة من كلمة تركية بمعنى منحدر حاد أو جرف) وتعرف أيضا بالضلوع الصحراوية هى عبارة عن حيود مستطيلة ومتوازية تفصلها أخاديد أو ممرات ضيقة تكونت نتيجة التعرية بالرياح، وتصطف موازية لاتجاه الريح السائدة. ويكون لبعض الياردنج شكل يشبه جسم سفينة مقلوبة. ويعتبر الياردانج أحد المعالم الشائعة المتكونة بفعل الرياح في الصحاري الحارة، مثل الصحراء الغربية المصرية. وتتواجد الياردانج عادة في مجموعات. ويكون ارتفاع هذه الحيود أقل من ١٥ مترا وطولها ١٠٠ متر أو اكثر، ولكن قد يصل طول الياردانج الواحد المفرد إلي عشرات الكيلومترات، وارتفاعه إلي حوالي ١٠٠متر. وتتميز الياردانج بأن لها عدة قمم، وأنها منحوتة من صخور رسوبية متماسكة صلبة أو صخور متبلورة (نارية ومتحولة) أو في رواسب بحيرات قديمة غير متماسكة نسبيا نتيجة للسحج (البري) بالغبار والغرين، وتكون كلها معرضة للتعرية الشديدة.



تكوينات صخرية تسمى ياردانج Yardang .

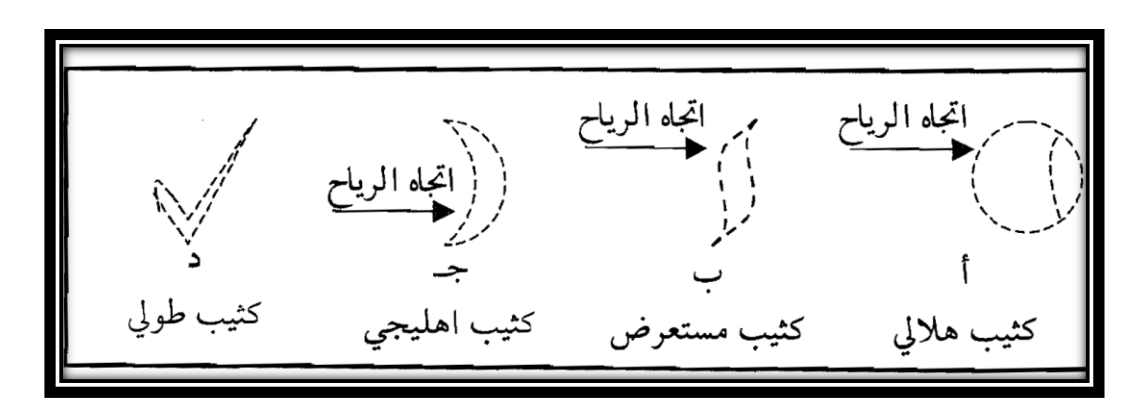
د – الترسيب بالرياح (الرواسب الريحية) :

عندما تنخفض سرعة الرياح بدرجة كبيرة فإنها لا تستطيع نقل حمولتها من الرمال والغرين والتراب، وتترسب أولاُ المواد الخشنة لتكون الكثبان الرملية مختلفة الشكال، وتتراوح في الحجم بين هضاب صغيرة مدورة knolls منخفضة وتلال ضخمة قد يصل ارتفاعها إلي أكثر من ١٠٠ متر. وتتساقط حبيبات الغرين والتراب الأدق حجما لتكون غطاءً منتظما تقريبا من الغرين والصلصال. ويقوم الجيولوجيون بدراسة هذه العمليات الترسيبية وربطها بخواص الرواسب، خاصة التطبق والنسيج، لاستنتاج المناخات وانماط الرياح القديمة. ونعرض فيما يلي الأنواع المختلفة للرواسب التي تكونها الرياح.

١ – الكثبان الرملية :

الكثيب الرملي sand dune هو تراكم من رمل سائب يأخذ شكل مرتفع أو تل، ترسب وتشكل بالرياح. وتغير الكثبان النشطة شكلها باستمرار بتغير اتجاه الريح. وتتكون الكثبان الرملية عندما يكون هناك مصدر للرمال مثل صخور الجرانيت أو صخور الحجر الرملي التي يتم تجويتها بسهولة، بحيث يسهل انفصال حبيبات الرمل منها، أوشاطئ يوجد بالقرب منه مصب نهر قريب. ويمنع وجود غطاء نباتي تحرك الكثبان الرملية، حيث تكون حينئذ غير نشطة ومستقرة، أو حينما تتغير اتجاهات الريح أو مصادر الإمداد بالرمل. وتتكون حبيبات رمل الكثيب الرملي عموما من معدن الكوارتز، وهو معدن صلب يتحلل كيميائياً بصعوبة. ويتكون الكثيب بسبب وجود أية عوائق غير منتظمة على سطح الرض تسبب انحراف انسياب الهواء. وتتغير سرعة الرياح عموما على ارتفاع متر أو مترين من سطح الأرض مع أي تغيرات طفيفة في شكل سطح الأرض. فعندما تقابل الرياح أي عائق صغير، فإنها تندفع فوقه وحوله وتترك منطقة بعد العائق مباشرة تكون سرعة الهواء فيها أبطأ ما يكون، حيث تنخفض سرعة الرياح المحملة بحبيبات الرمل في هذه المنطقة والتي تعرف بنطاق ظل الريح windshadow zone، وتبدأ الرمال في

التراكم ويؤثر هذا التراكم للرمال بدوره على انسياب الهواء، ويصبح هذا التراكم نفسه عائقا، ويستمر هذا التراكم في النمو في الجانب المدابر للعائق حتى يصبح كثيبا.



<u>شكل وحجم الكثيب</u>: يكون الشكل النموذجي للكثيب الرملي غير متماثل، حيث يكون الانحدار لطيفا في الجانب المواجه للريح windward side ولا تزيد زاوية الانحدار فيه عن ١٢، بينما يكون الوجه المدابر lee face للريح حاد الانحدار. وتكون زاوية استقرار الحبيبات في حدود ٣٣ إلي ٣٤ تقريباً (زاوية الاستقرار angle of repose هى أقصى زاوية يمكن أن يستقر عندها الراسب المتراكم قبل أن ينهار). وعندما ينمو كثيب الرمل بسبب وجود عائق يسبب انفصال الريح وتكون ظل الريح، فإن كل الركام يبدأ في الهجرة في اتجاه الريح نتيجة لحركة حبيبات الرمل. وتتحرك حبيبات الرمل بالوثب على مستوى الانحدار المواجه للريح، وهو انحدار تكون زاوية ميله صغيرة حتى قمة الكثيب، لتسقط في ظل الريح windshadow على الانحدار المدابر للريح (ظل الريح هو المنطقة خلف عائق ما حيث تنخفض سرعة الريح وتكون حركة الهواء غير قادرة على تحريك المواد). وتبنى هذه الحبيبات تدريجيا تراكما انحداره حاد وغير مستقر على الجانب العلوي من الوجه المدابر للريح. وتتكرر دوريا عملية البناء غير المستقر حيث ينزلق الرمل بسرعة على الوجه المدابر للريح. ولذلك يعرف أيضا الوجه المدابر لكثيب نشط بوجه الانزلاق (مسقط الرمل) slip face.

ويؤدي الانزلاق المستمر والمتتابع لحبيبات الرمل إلي أن تحافظ أوجه الانهيال على زاوية الاستقرار ثابتة، بالإضافة إلي تكون تطبيق متقاطع cross strata، وهو سمة مميزة للكثبان التي تكونت نتيجة تغيرات في حيث يتم دفنها تحت تتابعات رسوبية وتختفي الشكال الصلية للكثبان، إلا أن الطبقات المتقاطعة تبقى موجودة. ويستدل الجولوجيون من وجود تلك الطبقات المتقاطعة والتي تمثل أوجه انزلاق سابقة، على وجود كثبان تكونت بالرياح، كما يمكنهم أيضا استنتاج اتجاه الريح في الماضي. وينمو الكثيب ويزداد ارتفاعا، إذا كان معدل تراكم حبيبات الرمل على الجانب المواجه للريح أكبر من معدل تركمه على وجه الانزلاق. وتصل الكثبان الرملية إلي ارتفاع يتراوح بين ٣٠ مترا و١٠٠ متر، كما قد يصل بعضها الاخر إلي حوالي ٢٥٠ مترا، كما هو الحال في المملكة العربية السعودية.

- أنواع الكثبان الرملية:

• **كثبان البرخان:** يأخذ كثيب البرخان barchan dune شكلاً هلالياً ولذلك تعرف أيضا بالكثبان الهلالية crescentic dunes، ويتكون عادة في مجموعات إلا أنه يكون مفردا أحيانا. وهو يتحرك على سطح مستو من الحصى أو صخر الأساس حيث تشير نقطتا الهلال (القرنان horns) إلي اتجاه الريح السائدة، ويتقدم وجه الانهيال المقعر في اتجاه الريح. وتتكون كثبان البرخان عندما يكون إمداد الرمال محدودا واتجاه الرياح ثابتا ومستمرا. وقد تهاجر كثبان البرخان لمسافات طويلة دون أن تغير من شكلها، إلا أن شكلها قد يتغير إذا ما التحمت بكثبان برخان أخرى أو اعترضها عائق صخري أو نباتي. بعض كثبان البرخان بوسط سيناء بمصر.



صورة توضح كثبان هلالية الشكل .

• **الكثبان المستعرضة:** قد تلتحم عدة كثبان برخان معا لتكون حيودا طويلة وضيقة، حيث يكون اتجاه استطالتها مستعرضا أي عموديا على اتجاه الريح. وتمثل هذه التلال الملتحمة مرحلة انتقالية بين كثيب البرخان والكثبان المستعرضة transverse dunes، والتي تكون في هيئة حيود متموجة طويلة وعمودية على اتجاه الريح السائدة، وهى بذلك تشبه أمواج المحيط التي تكون مستعرضة على اتجاه الريح. وتتكون الكثبان المستعرضة في المناطق الجافة القاحلة حيث تتواجد الرمال بوفرة وينعدم الغطاء النباتي تقريباً. وتكون أحزمة الكثبان الرملية قرب الشواطئ عبارة عن كثبان مستعرضة تتكون نتيجة الرياح القوية. وتستقر الكثبان المستعرضة في المناطق المعتدلة أو الرطبة على مسافة من الشاطئ.



صورة توضح كثبان عرضية الشكل.

• **الكثبان الطولية:** تكون الكثبان الطولية linear dunes وتسمى أيضا الكثبان السيفية seif dunes (مستمدة من الكلمة العربية سيف) أو الحافات الرملية، وهى عبارة عن حيود أو تلال طولية مستقيمة أو متعرجة قليلا، وتكون موازية تقريباً للاتجاه العام للريح السائدة. وقد تصل هذه الكثبان إلي ارتفاعات تصل إلي ١٠٠ متر، وقد تمتد لعدة كيلومترات. ومازال تفسير أصل الكثبان الطولية موضع نقاش حتى الان. ولكن يعتقد معظم الجيولوجيين أن تلك الكثبان تتكون نتيجة هبوب الرياح من اتجاهات ثابتة تحدد الامتداد الطولي للكثيب، مع رياح أخرى تأتي من اتجاهين جانبيين تعمل على تجميع الرمال. وتوجد معظم المساحات المغطاة بالكثبان الطولية بالقرب من المناطق التي يوجد بها إمداد متوسط من الرمال. وتنتشر الكثبان الطولية على نطاق واسع في مصر. خاصة في وسط الصحراء الغربية بمصر .



صورة توضح كثبان هرمية وطولية الشكل .

• **<u>الكثبان النجمية:</u>** توجد الكثبان النجمية star dunes على هيئة كثبان هرمية ضخمة منفصلة تشبه قاعدتها النجمة، حيث تكون لها أذرع شعاعية متعرجة. وترتفع تلك الذرع الشعاعية ناحية مركز الكثيب حتى تنتهي في قمة حادة. وقد تصل الكثبان النجمية إلي ارتفاع يتراوح بين ٥٠ و١٥٠ مترا، إلا أنها قد تصل إلي ٣٠٠ متر في الارتفاع. وتتكون تلك الكثبان تحت تأثير الرياح التي تهب من كل الاتجاهات. وتميل تلك الكثبان النجمية إلي أن تبقى ثابتة في مكانها. وقد بقيت الكثبان النجمة في صحراء المملكة العربية السعودية ثابتة في مكانها لعدة قرون، حيث أصبحت من العلامات المميزة للمسافرين في تلك الصحاري.



صورة توضح كثبان نجمية الشكل .

• **<u>كثبان القطع المكافئ أو العكسي (البارابولية):</u>** وتعرف أيضا بالكثبان العكسية reversed dune: تأخذ قمة كثيب القطع المكافئ parabolic dunes شكل قوس في اتجاه الريح مثل حرف U أو V، له ذراعان متدليان يتحركان على الرض. وهناك نوع من كثبان القطع المكافئ يسمى كثيب الانطلاق blowout dune يتكون بالقرب من الشواطئ. ويوجد هذا النوع من الكثبان في المناطق التي يتوافر بها إمداد وفير من الرمال، حيث تهب الرياح المحملة بالرمال في اتجاه اليابس بعيدا عن الشاطئ، فيتكون منخفض يشبه طبق الفنجان نتيجة عملية التذرية ويتراكم الرمل على هيئة تل منحني يشبه حدوة الحصان. وتستقر تلك الكثبان بالنباتات التي تنمو فوقها. وعلى عكس كثيب البرخان، الذي يشبه كثيب الانطلاق ظاهرياً، فإن قرنا (ذراعا) كثيب القطع المكافئ يكونان في الاتجاه المواجه للريح، ويكون وجه الانزلاق المنحني محدبا، ويتقدم في اتجاه الريح، لأن النباتات تعمل على تثبيت الذراعين بينما يتقدم الجزء الوسط الذي يخلو أو تقل به النباتات إلي حد كبير.



- هجرة الكثبان:

يؤدي انتقال الرمال من الجانب المواجه للريح windward side إلي الجانب المدابر lee side النشط إلي هجرة الكثيب ببطء في اتجاه الريح. وقد أظهرت بعض القياسات التي أجريت على حركة كثبان البرخان أن معدل هجرتها كان كبيرا، حيث وصل إلي معدل ٢٥ مترا في العام. ومن المعروف أن هجرة الكثبان ، وخاصة على امتداد الشواطئ الرملية وعبر الواحات في الصحاري، قد تتسبب في دفن المنازل وحقول الزراعات، وفي ملء القنوات والمجاري المائية، كما نهدد المدن أيضا. وتعالج هجرة الكثبان الرملية في تلك المناطق بزرع الكثبان بالنباتات التي تقاوم الجفاف وتعيش في التربة الرملية الجافة لتلك الكثبان. ويمنع الغطاء النباتي المستمر هجرة الكثبان للسبب نفسه الذي يمنع به التذرية، حيث تعمل جذور النباتات على تماسك التربة وحبيبات الرمل، وبالتالي تمنعها من الحركة، أي تمنع هجرة الكثيب.

٢ – بحار الرمال :

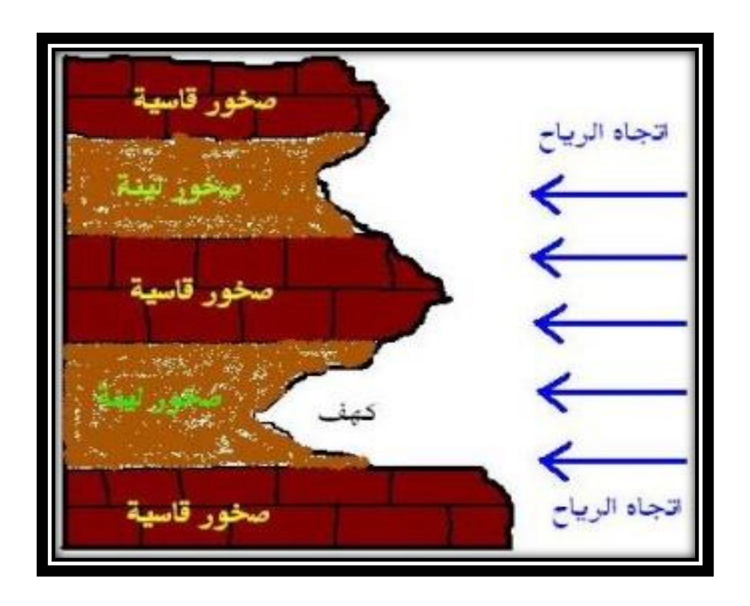
تعرف المنطقة الشائعة من الرمال المتحركة في بعض الصحاري الكبرى، والتي يوجد بها تجمع هائل من الكثبان الرملية وتهب فيها الرياح بقوة ببحر الرمال sand sea، كما يعرف بحر الرمال أحيانا بصحراء العرق erg. وتتميز مناطق بحار الرمال بتوافر إمدادات كبيرة من الرمال وغياب الطرق الصالحة للانتقال عبرها، وعدم وجود معالم طوبوغرافية محددة. وتوجد بحار الرمال في الصحاري الكبرى مثل تلك الموجودة في شمال وغرب أفريقيا وشبه الجزيرة العربية والصحاري الكبرى في غرب الصين وفي غرب ووسط استراليا. وقد يغطي بحر الرمال مساحات تصل إلي ٥٠٠٠٠٠كم٢ أو أكثر كما هو الحال في الصحراء الكبرى بأفريقيا..

٣ – لويس: التربة المتساقطة :

تغطي سطح الأرض في مناطق كثيرة من العالم، وخاصة عند خطوط العرض الوسطى، رواسب من التراب dust وغيره من الرواسب الدقيقة الأخرى التي تكونت نتيجة الترسيب من عواصف ترابية على امتداد آلاف السنين. ويعرف هذا الراسب بلويس loess . ويتميز اللويس بأنه تراب ترسب بواسطة الرياح، ويتكون معظمه من الغرين، ولكن يصاحبه عادة بعض الرمل الناعم والصلصال. وعموما، فإن اللويس يكون لونه أصفر إلي لحمي ومتجانس ولا يوجد به أي تطبق. ويميل اللويس لأن يتكسر على امتداد جروف رأسية عندما ينكشف نتيجة قطعة بمجرى مائي أو أثناء شق الطرق، كما لو أنه صخر التحمت حبيباته بشدة. وترجع خاصية تماسك اللويس إلي انجذاب جزيئات حبيبات الراسب بشدة بحيث تجعل منه صخرا متماسكا. كما أنه من السهل جدا تعريته بالمياه الجارية، كما يحدث على جوانب نهر الهوانجهو في الصين، عندما يزول الغطاء النباتي عنه.ويتميز اللويس بخاصتين تدلان على أنه ترسب بواسطة الرياح وليس من مياه المجاري المائية:

(١) يكون اللويس غطاء منتظما نسبيا يغطي التلال والوديان بالطريقة نفسها على مدى واسع من الارتفاعات.
(٢) يحتوي اللويس على حفريات نباتية أرضية land plants وحيوانات تتنفس الهواء.

وتوجد أشد رواسب اللويس سمكا في شمال الصين، حيث توجد طبقة يبلغ متوسط سمكها حوالي ٣٠ مترا، بينما يبلغ السمك أحيانا حوالي ١٨٠ متر، وتغطي هذه الرواسب آلاف الكيلومترات. ويبدو أن مصدر الراسب كان من داخل قارة آسيا. وتستخدم أحيانا رواسب اللويس في عمل الكهوف والسكنى نظراً لسهولة حفرها، سواء في الصين أو وسط أوروبا. ويرجح أو وجود اللويس في شرق السودان يرجع إلي أن تلك الرواسب قد نشأت الصحراء الكبرى في غرب السودان. وقد وجدت أيضا مساحات شاسعة من رواسب اللويس في الولايات المتحدة ووسط أوروبا ووسط آسيا والأرجنتين حيث تستخدم تلك الرواسب في الزراعة، مع إمكانية تعرضها للتعرية في الوقت نفسه.

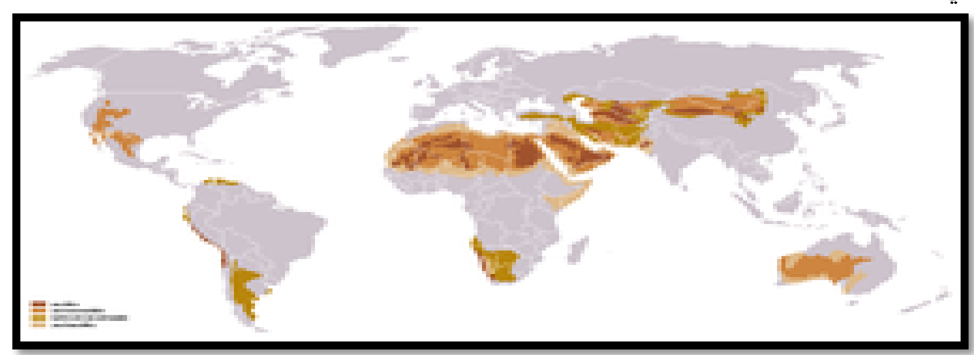


٤ – الرماد البركاني :

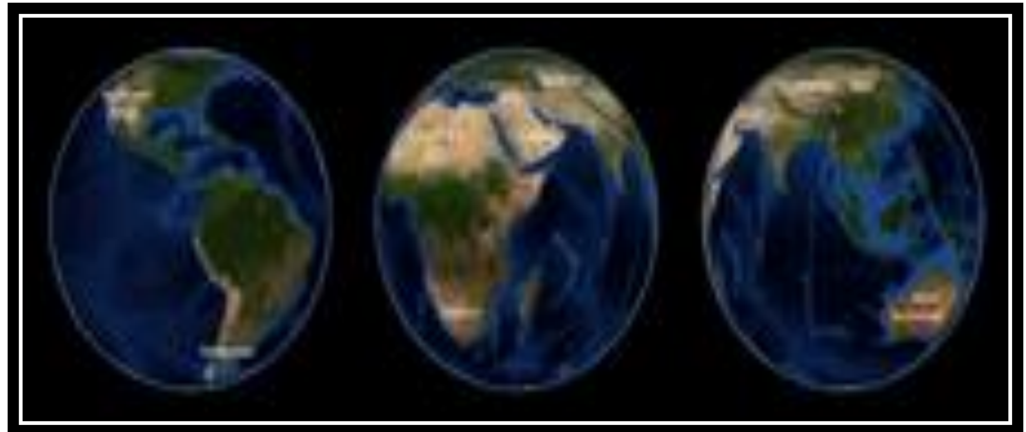
لا تنشأ كل الرواسب المتكونة بالرياح من عملية التذرية. فهناك كميات ضخمة من التفرا tephra (الفتات الناري) تقذف أثناء ثوران البركان في الغلاف الجوي. وعلى الرغم من أن الحبيبات الخشنة والثقيلة تتساقط بسرعة من عنق البركان، إلا أن الحبيبات الدقيقة يمكن أن تحمل لمسافات بعيدة. وتستطيع الحبيبات الدقيقة التي تصل إلي طبقة الاستراتوسفير أن تدور حول الأرض عدة مرات. وتكون الحبيبات التي تتساقط أثناء ثوران البركان تيارا صاعدا مستطيلا من الرواسب، والتي يقل فيها حجم الحبيبات وكثافتها كلما ابتعدنا عن البركان. ويمكن للجيولوجيين عند فحص الطبقات المتكونة من الرماد البركاني استنتاج مسارات الرياح التي سادت أثناء نشاط البركان. وعلى الرغم من أن رواسب الرماد البركاني تشبه رواسب اللويس، إلا أنه يمكن عند تحديد التركيب المعدني الناري ووجود فتات من الزجاج البركاني تمييز طبقات التفرا من اللويس.

ـ الصحاري :

الصَّحْرَاءُ هي منطقة قاحلة حيث المطر قليل جداً، وبالتالي فظروف الطقس معادية للحياة النباتية والحيوانية. وإن إنعدام الغطاء النباتي في الصحراء يعرض سطحها لعمليات التعرية. حوالي ثلث سطح اليابسة في العالم قاحل أو شبه قاحل، وهذا يشمل الكثير من المناطق القطبية حيث هطول الأمطار قليل، وتسمى هذه المناطق القطبية أحيانا ب"الصحاري الباردة". تصنف الصحاري حسب كمية الأمطار التي تسقط، أو درجة الحرارة التي تسود، أو أسباب التصحر أو الموقع الجغرافي.



خريطة مناطق توزع الصحاري وشبه الصحاري، بالبني الداكن تشير إلى مناطق الصحراء وبالبني الفاتح مناطق شبه الصحاري أو مناطق حرجة معرضة لخطر تصحر وشيك.



صحارى العالم من الفضاء



الصحراء الكبرى في شمال إفريقية.

وتتشكل الصحاري بفعل العوامل الجوية حيث أن الاختلافات الكبيرة بدرجات الحرارة بين النهار والليل تؤدي إلى تكسر الصخور إلى قطع. وعلى الرغم من ندرة المطر، تحدث أمطار غزيرة في أوقات نادرة مؤدية لفيضانات مفاجئة. وسقوط المطر على الصخور الساخنة يمكن أن يتسبب بتحطيم وتآكل إلى شظايا متناثرة على الأرض وتتعرض هذه الشظايا لتفتت أكثر بفعل الرياح. وتأخذ الريح جزيئات الرمل المتفتتة في الرمال أو العواصف الترابية. فتكشط السطوح الصلبة في البيئة بحبيبات الرمل. فتنعم الصخور وتحول الرياح حبيبات الرمل لأشكال متجانسة فترصفها كطبقات على الأرض أو تكدسها مكونة كثبانً رملية. وفي صحارى أخرى يكون سطحها مستوياً خالياً من الرمال ومتكونا من طبقة صخور ملساء، وتعرف هذه المناطق بالأرصفة الصحراوية (desert pavements)، وقد توجد في بعض الصحاري النتوءات الصخرية، وتوجد في أحيانٍ صخور غريبة الأشكال نتيجة لنحت الرياح التي عصفت بها فتكون على شكل الفطر أو أشياء أخرى.

قد تتكون بحيرات مؤقتة في الصحراء وبعدها تجف كاملاً أو تتحول لسبخات. وقد توجد مصادر للمياه الجوفية في الصحراء بشكل ينابيع أو نضوح من طبقات المياه الجوفية. ومنها تتكون الواحات.

إن النباتات والحيوانات التي تعيش في الصحراء بحاجة لتكيفات خاصة من أجل البقاء حيةً في بيئة الصحراء القاسية. فالنباتات تميل إلى أن تكون ذات قدرة تحمل قوية وأوراقها سلكية الشكل وصغيرة الحجم وفي بعض أنواعها تخلو من الأوراق، وتكون ذات طبقة كيوتكل مقاومة للماء، وغالبا ما تحوي على أشواك لردع الحيوانات العاشبة عن أكلها. وإن بعض النباتات السنوية تنبت في الصحراء، وتزهر وتموت في غضون بضعة أسابيع بعد هطول الأمطار، في حين أن غيرها من النباتات المعمرة قادرة على البقاء على قيد الحياة لعدة سنوات بفعل جذورها العميقة القادرة على الاستفادة من الرطوبة في باطن الأرض. أما الحيوانات فتحتاج للحفاظ على برودتها وإيجاد ما يكفي من الغذاء والماء للبقاء على قيد الحياة. فكثيرة من الحيوانات ليلية النشاط ، أو تبقى في الظل، أو تهرب لأماكن تحت سطح الأرض أثناء حرارة النهار. فإنها وتميل حيوانات الصحراء لأن تكون فعالة في الحفاظ على المياه، واستخراج معظم احتياجاتها منه ويكون بولها عالي الأمونيا (مركزاً) وذلك للتقليل من كمية المياه الضائعة بالتبول. وهناك أنواع من الحيوانات تكون في حالة من السكون لفترات طويلة، وتصبح نشطة عندما تسقط الأمطار النادرة، فتتكاثر بسرعة استغلالاً لوجود الماء قبل أن تعود إلى حالة السكون.

أما البشر فقد ناضلوا للعيش في الصحاري والأراضي الشبه القاحلة المحيطة بها لآلاف السنين، فتنقل البدو وقطعانهم إلى أي مكان لرعي حيواناتهم، كما وفرت فرص وجود الواحات وسيلة لحياة أكثر استقرارا .

إن استصلاح المناطق الشبه القاحلة يزيد من تآكل التربة وهي واحدة من أسباب زيادة التصحر. أما زراعة الصحراء ممكنة في حالة وجود نظام للري وإن وادي امبريال في كاليفورنيا هو خير دليل لكيفية زراعة ارض جرداء من خلال جلب المياه من مصدر خارجي.

وقديماً مرت العديد من طرق التجارة عبر الصحاري، وخاصة عبر الصحراء الكبرى، وتقليديا كانت تستخدم من قبل قوافل الجمال التي تحمل الملح والذهب والعاج وغيرها من السلع. وكذلك أخذت أعداد كبيرة من العبيد شمالا عبر الصحراء.

وتتمتع بعض الصحاري بألوان كثيرة نتيجة إحتوائها لمعادن مختلفة فتكسبها ألوان متعددة ومن أمثلة تللك الصحاري الصحراء المرسومة (أريزونا) والصحراء المرسومة (جنوب أستراليا).

وتستخرج المعادن من بعض الصحاري الغنية بها، كما أن غناها بأشعة الشمس جعلها مصدراً مهما لاستغلال الطاقة الشمسية عن طريق الألواح الشمسية.

أكبر صحارى بالعالم:

فيما يلي قائمة بأكبر صحارى العالم:

المرتبة	الصحراء	المساحة(km^2)	المساحة(mi^2)
1	**القارة القطبية الجنوبية**(القطب الجنوبي)	14,200,000	5,500,000
2	**منطقة قطبية شمالية**(المنطقة القطبية الشمالية)	13,900,000	5,400,000
3	**الصحراء الكبرى** (إفريقية)	9,100,000	3,500,000
4	**صحراء جوبي** (أ سيا)	1,300,000	500,000
5	**صحراء باتاغونيا** (أمريكا الجنوبية)	670,000	260,000
6	**صحراء فكتوريا الكبرى**(أستراليا)	647,000	250,000
7	**صحراء كالهاري** (إفريقية)	570,000	220,000
8	**صحراء الحوض العظيم**(شمالي أمريكا)	490,000	190,000
9	**الصحراء السورية**(الشرق الأوسط)	490,000	190,000

الحياة فى الصحراء:

النباتات الصحراوية:



صحراء في حفر الباطن بالسعودية بعد الأمطار



صحراء في إمارة عجمان بدولة الإمارات بعد أمطار الشتاء (٢٠١٤)

تتأثر **النباتات الصحراوية** بالحرارة وجفاف الأرض وتسعى للحصول على شيء من الماء القليل المتوافر في أماكن وجوده، ثم لاتعيش منها سوى بعض النباتات التي أخذت كفايتها من الماء، ولذلك تكون الثغرات واسعة بين نبتة وأخرى، وتذبل النباتات التي لم تحصل على الماء الكافي.

تمتص بعض النباتات الماء من المياه الجوفية، ففي أمريكا مثلا، يوجد شجر المسكيت الذي يمتص الماء على عمق ١٢ م، تحت الأرض، وأشجار أخرى تختزن كميات من الماء في أوراقها

وجذورها وجذوعها، مثل نبات الصبار ليحتفظ بماء الأمطار فينتفخ ساقه، فإذا جف الماء منه يتقلص وينكمش. وتبقى بعض النباتات يانعة بعد هطول الأمطار لفترة قصيرة بفضل الماء المخزون في أوراقها وجذوعها. تستهلك الأوراق كثيرًا من الماء. فإذا سقطت يتوافر الماء للجذع، وهناك أشجار أخرى لها أوراق دقيقة جدًا، فلا تستهلك إلا قليلا من الماء المتوافر في الجذع، وتبقى النبتة يانعة بين موسمين من الأمطار. وبعد سقوط الأمطار، تتفتح الأزهار بألوانها الزاهية، وتورق الأشجار وتخضر، فتصبح مساحات الصحراء جميلة، ثم لاتلبث الأزهار أن تذبل بعد توقف الأمطار.

الصبار:

تقوم الأشواك في نبتة الصبار مقام سياج من الأسلاك الشائكة. فهي تصون النبتة وتمنع معظم الحيوانات من أكلها، ومن أنواع الصبار السجوار (saguaro) وهي أطول نباتات الصبار. قد يصل ارتفاعها إلى ١٢ متراً، أي ما يزيد عن ارتفاع أربعة جمال مجتمعة، وعوضاً عن الأشواك، تكون بعض نباتات الصبار مموهة حتى لا تلفت انتباه الحيوانات فمثلاً يشبه الصبار الحجري الحصى إلى حد بعيد.

الحيوانات الصحراوية:

تشتمل الحيوانات الصحراوية على عدد كبير من الحشرات والعناكب والزواحف والطيور والثدييات. كما تفد إلى الصحراء، بعد سقوط الأمطار، حيوانات برية مثل الأيائل . أما الحيوانات الضخمة فتلجأ إلى الأماكن الظليلة طوال النهار فتبرد أجسامها، إذ يتبخر الماء فوق جلودها، ويعوض بماء آخر من المأكولات التي تتغذى بها، وتضاف إليها مياه أخرى إذا وجدت في بعض المنخفضات، وكذلك فإن عملية الهضم تضيف الماء في جسم بعض الحيوانات مثل الإبل التي تستفيد من هذا المصدر المائي المهم، فيستطيع الجمل البقاء بدون ماء لعدة أشهر. كما أن للجمل مصدرًا آخر لتوليد الطاقة في جسمه، حيث أن سنام الجمل مستودع لكميات كبيرة من الشحم، وباستطاعته أن يعيش على هذه الطاقة إذا جف جسمه من الماء الضروري. كما أن اليربوع والفأرة الكنغر. لا يشربان الماء. فهما يحصلان على كل حاجتهما من الماء من بذور النباتات وغيرها من المواد الغذائية.

الجمل:

يستطيع الجمل أن يسير لأيام عدة، من دون ماء وحتى لأسابيع شرط أن تتوفر له بعض النباتات المليئة بالعصارة ليتغذى بها. عندما يحصل الجمل على الماء، فبوسعه أن يشرب أكثر من ١٠٠ ليتر في غضون ١٠ دقائق.

- من الجمال نوعان : الأول.هو الجمل العربي الوحيد السنام، والثاني. هو الجمل ذو السنامين أو القرعوس من آسيا.
- يستطيع الجمل أن يسير لأسابيع عدة من دون طعام لأن سنامه أشبه بحقيبة ظهر يخزن فيه الطعام على شكل دهون.

تطور الصحراء وتغيرها:

الري يوفر الماء الضروري لنمو المحاصيل في الصحراء. ويمكّن مشروع الري في الصحراء الليبية المزارعين من زراعة الفصفصة بأراضيهم. تقع معظم الأراضي الصحراوية ما بين دائرتي عرض ١٥°و ٣٥° شمال وجنوب خط الاستواء، أي في مناطق الضغط الجوي المرتفع، حيث تهب الرياح باردة ثم تدفأ. وتتكون مناطق الضغط المرتفع بحركة الرياح فوق الأرض، فالهواء الدافئ ينبعث من خط الاستواء ويهب شمالاً وجنوبًا. وكلما ارتفع الهواء قلّت درجة حرارته، وتتساقط منه قطرات الرطوبة فوق المناطق المجاورة لخط الاستواء. فإذا بلغ الهواء مستوى دائرة عرض ١٥° شمالاً أو جنوبًا، يأخذ في الهبوط فيسخن من جديد، وهكذا تتكون حالات الجفاف في الصحراء.

وتميل إلى حالة الجفاف أيضًا كل المناطق التي تفصلها المرتفعات عن شاطئ البحر، ذلك لأن الرياح التي تهب من البحر تفقد رطوبتها، كلما ارتفعت فوق القمم، فتبرد ثم تنخفض على سفح الجبال نحو الأراضي الداخلية، وكلما انخفضت ارتفعت درجة حرارتها، ومن ثم تجف. ومن هذا الهواء الدافئ الجاف يتكون ظل المطر وهو منطقة جافة، ويعتقد العلماء أن الأراضي الصحراوية في أمريكا الشمالية تكوّنت من أراضٍ مماثلة قبل آلاف السنين، ومنذ ذلك العهد الغابر لم يحدث أي تغيير في العوامل الطبيعية المكونة للصحراء.

إلا أن يد الإنسان عملت على انتشار هذه المناطق. حيث تسببت في إتلاف الملايين من المساحات الزراعية سنويا ـ وكلها من الأحزمة الخصبة المتاخمة للأراضي الصحراوية ـ وذلك نتيجة عدم الاهتمام بخدمة الأرض، وقطع الأشجار، والرعي الجائر، وفتح المناجم. وقد اتخذت بعض الإجراءات لوضع حد لإتلاف التربة الخصبة وزحف الصحراء عليها واسترجاع ما تلف منها، ومن بين هذه الإجراءات، غرس الأشجار في الأراضي القاحلة للحد من تأثير الرياح التي تتسبب في زحف الرمال على التربة، ومن ثم تحويل مجرى الرياح عن المحاصيل الزراعية، واتّباع أفضل الأساليب في زراعة الأرض، وكذلك تقليل المراعي حول الأراضي القاحلة. وكل هذه إجراءات فعالة لوقف زحف الصحراء على الأراضي الزراعية.

الإنسان والصحراء:

المناطق الصحراوية يصعب العمران فيها، إلا أن بعض الناس تأقلموا على الحياة تحت الحرارة المستمرة، والجفاف الدائم. ففي أمريكا الشمالية يستعمل السكان في المناطق الصحراوية ـ وهم من الهنود والمكسيكيين ـ اللَّبِن والطين لبناء بيوتهم، فتمنع عنهم حرارة القيظ. وكذلك يفعل سكان المناطق القاحلة في شبه الجزيرة العربية. سكانها تأقلموا على تلك الظروف القاسية يطلق عليهم في الوطن العربي البدو.

ومعظم سكان الصحراء في إفريقيا وآسيا رعاة يتنقلون من مكان لآخر، بحثًا عن الماء والكلأ للماشية. ويسكنون الخيام ويلفون أجسامهم في ثياب طويلة تقيهم حرارة الشمس المحرقة ولفحات الزوابع الرملية.

وفي مناطق صحراوية أخرى أصبح الناس يستعملون أجهزة التكييف في بيوتهم، ويعتمدون على حفر الآبار للسقي، مما سهل عليهم تحمل الحياة في البيئة الصحراوية.

البناء في الصحراء:

تبنى من تربة الصحراء بيوتا من الطين حيث تخلط تربة الصحراء مع مخلفات النباتات كالتبن وروث البقر والماء بمقادير معينة وتصنع منه اشبه بالبلك المربعة الشكل أو المستطيلة بعد وضعها بالواح الخشب أو الفلين وتعرض في الشمس حتى تجف تماما ثم يبدأ البناء ويكون السقف من الخشب ومربع الشكل بشرط ترك فتحات للأمطار لتجري بسرعة أو على شكل جملون هرمي لضمان نزول المطر بسرعة وهذه المنازل غالبا ما تكون باردة.

حرارة الصحراء:

على الرغم من أن المناطق الصحراوية لا تتلقى كمية من أشعة الشمس تفوق كثيرا ما تتلقاه المناطق المعتدلة، إلا أن غياب الغطاء النباتي والغيوم يسبب ارتفاع درجة الحرارة في المناطق الصحراوية بشكل أكثر من المناطق المعتدلة. حيث أن الغطاء النباتي والغيوم يسهمان في عكس جزء من أشعة الشمس وحرارتها إلى الفضاء مرة أخرى، مما يسبب انخفاض درجة الحرارة بشكل نسبي، وهو ما لا يحدث في المناطق الصحراوية. في المقابل نجد أن الصحاري تفقد هذه الحرارة التي اكتسبتها خلال النهار بشكل أسرع من المناطق الأخرى، فتفاوت درجات الحرارة بين الليل والنهار أكبر منه في المناطق الأخرى، والسبب في ذلك هو نفسه السبب في ارتفاع درجات الحرارة نهارا، أي غياب الغطاء النباتي والغيوم، واللذان يتسببان في إعاقة تسرب الحرارة إلى الفضاء أثناء الليل. وبسبب فقر الصحاري إلا هاذين العاملين نجد أن الحرارة تنخفض بسرعة في الليل.

في العديد من الصحاري حول العالم، يكون القيظ شديداً أثناء النهار بما يكفي لقلي بيضة على صخرة. لكن القيظ لا يبلغ هذا الحد في الصحاري جميعها. ففي بعض الصحاري، يكون الصيف قائضاً والشتاء قارصاً.

السراب:

إن انعكاس ضوء السماء يتسبب بظاهرة السراب، وينشأ السراب عن انحناء أشعة الشمس أثناء عبورها طبقات الهواء الساخنة القريبة من سطح الأرض، يسمى هذا الانحناء علمياً ((بالانكسار)).

ظاهرة الصفير:

عند تحرك رمال الكثيب أو المشي عليها، قد تصدر صفيراً أو أصواتاً أخرى غريبة، وسبب ذلك هو ظاهرة الصفير والتي تحدث في ظروف خاصة. وقد تعزى هذه الظاهرة إلى الأصوات الغريبة التي كان يسمعها العرب قديماً وسموها بعزيف الجن.

أ – مناطق تواجد الصحاري:

ويمثل **النوع الأول** من الصحاري وهى الصحاري شبه المدارية semitropical.

ويوجد النوع الثاني من الصحاري في المناطق القارية الداخلية بعيدا عن مصادر الرطوبة، حيث يسود صيف حار وشتاء بارد (مناخ قاري). ويشمل هذا النوع صحاري جوبى وتاكلا ما كان في وسط آسيا.

ويوجد النوع الثالث من الصحاري عندما تعمل سلسلة جبال كحاجز لانسياب الهواء الرطب المنساب من المحيط، مما يسبب وجود منطقة في الجانب المدابر للجبل يقل فيها تساقط الأمطار، وتسمى تلك المنطقة بظل المطر rainshadow. وعندما يصعد الهواء البحري المتحرك على الشاطئ على الانحدار المواجه للريح لأي سلسلة جبلية فإنه يبرد، مما يقلل كمية الرطوبة التي يمكن أن يحتفظ بها الهواء، وتتساقط الأمطار على الجانب المواجه للرياح. ويحتوي بذلك الهواء الذي يصل إلي الجانب المدابر لسلسلة الجبال على قليل من الرطوبة، مما يؤدي إلي نشأة مناخ جاف فوق المنطقة خلف سلسلة الجبال. وتكون سلسلة الكاسكيد وسيرانيفاذا في غرب الويالات المتحدة مثل هذا الحاجز مما يتسبب في نشأة مناطق صحراوية شرق هذه الجبال مباشرة.

وتتواجد الصحاري الساحلية على حدود القارات، حيث تنخفض درجة حرارة الهواء البحري المندفع في اتجاه الشاطئ نتيجة تأثير ماء البحر البارد المتدفق لأعلى مما يقلل من قدرة الهواء على أن يحتفظ بأي رطوبة. وعندما يقابل الهواء البارد الأرض الدافئة، فإن محتواه المحدود من الرطوبة يتكثف ويتكون ضباب ساحلي. وعلى الرغم من وجود الضباب، فإن محتواه الهواء من

الرطوبة يكون قليلا جدا لكي يسبب سقوط أمطار غزيرة، ولذلك تبقى المنطقة الساحلية صحراوية. وتعتبر الصحاري الساحلية الموجودة في بيرو وجنوب غرب أفريقيا، والتي **تمثل النوع الرابع** من الصحاري ضمن أكثر المناطق جفافا على وجه الأرض. وتتميز الأنواع الربعة السابقة من الصحاري بأنها صحاري الحارة، حيث يكون تساقط المطر منخفضا ودرجات حرارة فصل الصيف مرتفعة.

ويشمل النوع الخامس من الصحاري، مساحات شاسعة من صحاري المناطق القطبية، حيث يكون تساقط المطر نادرا للغاية أيضاً، نتيجة هبوط هواء بارد جاف. وعلى الرغم من ذلك التشابه، إلا أن الصحاري الباردة تختلف عن الصحاري الحارة عند خطوط العرض المنخفضة في أمر مهم، وهو أنه يوجد وفرة من الماء تحت سطح الصحراء القطبية، ولكن يكون معظمها في شكل جليد. وقد تبقى درجة حرارة الهواء تحت درجة التجمد حتى في منتصف فصل الصيف، حين تكون الشمس فوق الأفق لمدة ٢٤ ساعة يوميا. وتوجد الصحاري القطبية في شمال جرينلاند بالمنطقة القطبية الشمالية في كندا وفي الوديان الخالية من الجليد في أنتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية). وتعتبر تلك الصحاري أقرب مناطق الرض شبها بسطح المريخ، حيث تبقى درجات الحرارة أيضاً تحت درجة التجمد ويكون الغلاف الجوي جافا للغاية.

ب- مناخ الصحراء :

ينشأ المناخ الجاف (القاحل) arid climate في الصحاري الحارة من ارتفاع درجة الحرارة، بالإضافة إلي ندرة سقوط المطر وارتفاع معدل البخر. ولقد سجلت درجة حرارة الهواء فوجد أنها وصلت إلي أكثر من ٥٠ درجة مئوية في دولة قطر في الخليج العربي وحوالي ٥٨ في الصحراء الليبية في شمال أفريقيا. ولقد مر عقد من الزمان أو أكثر على صحراء أتاكاما في شمال شيلي دون سقوط أي أمطار. ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة في مثل هذه الصحاري الحارة إلي زيادة معدل التبخير.

وترتفع درجة حرارة الهواء فوق مناطق الصحراء الساخنة في ساعات النهار، حيث يتمدد الهواء ويرتفع لأعلى. وتنشأ الرياح القوية نتيجة حركة الهواء السطحي ليحل بسرعة محل الهواء الساخن الصاعد. لذلك تتميز الصحاري الحارة بأنها قاحلة، وأن الرياح بها تكون قوية أيضاً.

ج – التجوية في الصحراء :

تعمل العمليات الجيولوجية نفسها في كل من الصحاري والمناطق الرطبة، رغم الاختلاف بينهما. حيث تعمل عمليات التجوية والنقل بالطريقة نفسها، ولكن مع اختلاف شدة كل منهما. فتسود التجوية الفيزيائية على التجوية الكيميائية في الصحاري. وتتكون معادن الصلصال نتيجة التجوية الكيميائية للفلسبارات والمعادن السيليكاتية الأخرى، ولكن بكميات صغيرة وببطء نتيجة نقص المياه اللازمة لذلك التفاعل، وتذرو الرياح القوية معادن الصلصال القليلة التي تكونت، مما يسبب

عدم تكون تربة ذات سمك معقول. لذلك فإن التربة في الصحاري تكون رقيقة ومتباعدة على هيئة بقع متباعدة.

ويسود في العديد من المناطق الصحراوية اللون البني الداكن، الذي يكون طلاءً قاتما لامعا يغطي أسطح الصخور، ويتكون من خليط من معادن الصلصال مع كميات أقل من المنجنيز وأكاسيد الحديد، ويسمى هذا الطلاء الداكن ورنيش الصحراء desert varnish، وهو يتكون نتيجة التجوية البطيئة لمكاشف الصخور لفترات طويلة تصل لآلاف السنين.

١ – المجاري المائية: عامل تعرية مهم في الصحاري:

يسود اعتقاد خاطئ بين الناس أن الصحاري تتكون فقط من امتدادات شاسعة من الكثبان الرملية، حيث تغطي الرمال حوالي خمس مساحة الصحاري في العالم. وعلى سبيل المثال، فإن الرمال تغطي ثلث مساحة شبه الجزيرة العربية، وهى تعتبر من أكثر مناطق العالم التي تتواجد بها الرمال، بينما تغطي الرمال عشر مساحة الصحراء الكبرى في شمال أفريقيا. وتعتبر الواحات المتناثرة بالصحاري أماكن يصل فيها منسوب الماء الجوفي (الأرضي) محليا إلي سطح الأرض، ومن أشهر الأمثلة على ذلك الواحات المتناثرة بالصحراء الغربية المصرية مثل الواحات البحرية والفرافرة وسيوة وغيرها.

وتقطع معظم المناطق التي لا تغطيها الرمال لمجاري المائية، أو تغطي بمراوح وسهول طميية. ولذلك فإن معظم التعرية في كثير من الصحاري تتم نتيجة عمل المجاري المائية، وليس بعمل الرياح.

ولا تصل معظم المجاري المائية الصحراوية إلي البحر، وإنما تنساب في الصحاري وتختفي بسرعة، إما نتيجة بخر الماء أو تخللها وتسربها في الأرض. ويستثني من ذلك الأنهار الكبرى الطويلة مثل نهر النيل، الذي ينشأ في هضبة البحيرات والمرتفعات الأثيوبية الرطبة بشرق أفريقيا وينساب خلال السودان ثم مصر. ويستمر نهر النيل في الانسياب عبر الصحاري القاحلة رغم عملية التبخير، وينقل كمية كبيرة من الماء. وتتميز المجاري المائية في الصحراء عموما بتباعدها عن بعضها نظرا لقلة المياه، ولكن تتميز أنماط شبكات الصرف بها أنها تشبه مثيلاتها في البيئات الأخرى.

ولا يمنع الغطاء النباتي المتناثر والقليل في الصحراء من جريان الماء المتساقط على سطح الأرض. ويعمل ماء الصرف السطحي هذا على تعرية ونقل الصخور المتكسرة غير المتماسكة التي تكون سطح الأرض وتغطي صخر الأساس، وتعرف بالحطام الصخري (الأديم) regolith. ويصاحب العاصفة الممطرة الشديدة عادة فيضان مفاجئ flash flood محلي، يسبب تدفق كميات ضخمة من الماء، ويستمر لفترات قصيرة ينقل خلالها كميات كبيرة من الرواسب. ويكون الحطام الصخري الناشئ من تلك الفيضانات مرواح عند منحدرات الجبال وعلى أرضية الوديان المتسعة والأحواض.

وفي مصر، فقد تسببت الأمطار الغزيرة التي سقطت في الثاني من نوفمبر ١٩٩٤م فوق قرية درنكة، قرب مدينة أسيوط في حدوث سيول أدت إلي حدوث انسياب للمياه من منحدرات التلال على امتداد الوديان، نقلت التربة والحطام الصخري ورواسب من مختلف الأحجام إلي القرية. وقد تسببت مياه السيول المحملة بكميات كبيرة من الرواسب والحطام الصخري في انفجار أربع خزانات للوقود بالقرية واشتعلت بها النيران، وتسببت الغازات والحرارة في مقتل ٣٩٩ شخصا من مختلف الأعمار. كما تسببت رواسب الطين والرمال، التي وصل سمكها إلي أكثر من متر في الأراضي المنخفضة، في نفوق أعداد كبيرة من المواشي وغرق الأراضي الزراعية وتدمير أعمدة الهاتف والكهرباء باقرية، كما غمرت الطرق ودفنت السيارات تحت رواسب الطين والرمال..

د – الرواسب والترسيب في الصحاري:

عندما تجف الفيضانات المفاجئة والمحملة بالرواسب، فإنها تترك رواسب مميزة على قيعان الأودية الصحراوية، حيث يغطي الحطام الصخري الخشن كل أرضية الوادي دون أن تتمايز الرواسب إلي رواسب مجاري مائية وسهول فيضية وجسور طبيعية natural levees، كما يحدث عادة في مجاري الأنهار. وقد يتكون في عديد من الأودية الصحراوية الأخرى تداخلا بين رواسب المجاري المائية ورواسب السهول الفيضية والرواسب الريحية (الناتجة من فعل الرياح) eolian sediments.

وتعتبر الكثبان الرملية وحقول الكثبان وبخار الرمال أكثر التراكمات الرسوبية الريحية إثارة للاهتمام، حيث تغطي الرمال حوالي خمس المساحات الصحراوية في العالم، بينما تغطي بقية مساحة الصحاري الرصيف الصحراوي أو الصخور. ونادراً ما تكون المياه الجارية في المناطق القاحلة كافية بدرجة تسمح بالاحتفاظ بها لكي تكون بحيرات دائمة. وتسمى تلك البحيرات الدائمة أو المؤقتة التي تتجمع في أودية الجبال أو أحواض المناطق القاحلة ببحيرات البلايا playa lakes. وقد تكون مياه بحيرات البلايا سامة نظرا لارتفاع نسبة الملوحة أو القلوية، نتيجة للبخر أو ذوبان الأملاح بالمجاري المائية في الصحراء. وعندما تتبخر مياه البحيرة، فإن نواتج التجوية والتعرية الذائبة في تلك المياه تتركز وتبدأ في الترسب تدريجيا. وقد يكون التبخير كاملاً بحيث تصبح البحيرة جافة وتكون بلايا (بحيرة جافة) playa (من الإسبانية بمعنى شاطئ). وقد تتراكم الأملاح البيضاء أو الرمادية عند السطح الجاف للبلايا، والتي قد تزداد نتيجة تكرار عملية التكون والبخر إلي سمك يصل إلي عشرات الأمتار. وتعتبر البلايا من أهم رواسب المتبخرات في البيئة الصحراوية، وهى مصدر مهم للكيماويات الصناعية (كربونات الصوديوم) والبوراكس (بورات الصوديوم) وأملاح أخرى غير عادية.



تطاير رمال الكثبان الرملية مع الريح ،كاليفورنيا.

توزيع البلايا القديمة بالقرب من الواحات الكبرى في الصحراء الغربية المصرية. ويتضح أن هناك أكثر من ١٠٠ بلايا تزيد مساحة كل منها عن كيلومترين، وتتركز في الجزء الجنوبي من الصحراء الغربية، منها ٢٥ بلايا في الواحات الداخلة و ٢١ بلايا في الواحات الخارجة و ٢٤ بلايا في الفرافرة. كما تتواجد بعض البلايا الأخرى التي تقل مساحتها عن كيلومترين مربعين على أسطح الهضاب والوديان.

ـ معالم الأرض في الصحاري:

تتميز معالم الأرض في الصحاري بالتنوع الشديد، حيث تكون هناك مساحات منخفضة واسعة وممتدة ومغطاة بالرمال والكثبان وأرصفة الصحراء والبلايا، بينما تكون الأراضي المرتفعة صخرية ويقطعها أودية أنهار عميقة أو أودية ضيقة لها جوانب شديدة الانحدار وعظيمة الارتفاع وتكاد تكون رأسية، تعرف بالخوانق gorges (جمع خانق). ويؤدي نقص التربة والغطاء النباتي إلي أن تبدو المعالم الأرضية ومنظر الأرض landscape عموما أكثر حدة وقسوة من منظر الأرض في المناخات الرطبة. فبينما تكون المنحدارات في المناطق الرطبة مستديرة ومغطاة بالتربة وبها غطاء نباتي، فإن المنحدرات في الصحاري تكون شديدة الانحدار ووعرة وتكون جروفا cliffs. وتغطي المنحدرات شديدة الانحدار كسرات صخرية غير متجانسة ومختلفة الأحجام بسبب تسوية تلك المنحدرات، بينما تتجمع كتل الركام talus عند قاعدة الجرف والمكون من ذلك الحطام الصخري المتساقط من أعلى المنحدر.

وتتميز الأودية في الصحاري بأن لها القطاع الطولي نفسه (البروفيل) للودية في البيئات الأخرى، إلا أن معظم الأودية في الصحاري تتميز بالجفاف والجوانب شديدة الانحدار، نتيجة التعرية السريعة بسبب تحرك لكتل والمجاري المائية.

ونستعرض فيما يلى أهم المعالم التى تميز الأرض فى الصحارى:

أ المراوح الفيضية (الطميية) والبجادا (المنحدرات الطميية) :

تتكون المراوح الفيضية (الطميية) في العديد من بيئات الترسيب. ولكنها تكون شائعة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، حيث تتكون أساسا من الطمي والفتات الصخري المنحمول في المجاري المائية. وتتكون المراوح الفيضية (الطميية) عندما يحدث انخفاض مفاجئ في سرعة المياه المتدفقة عبر الأخاديد الخانقة canyons التي تقطع سلاسل الجبال، حيث تنتشر المياه الجارية على المنحدرات اللطيفة عند سفح الجبل، وتترسب بالتالي معظم حمولة المجرى لمائي خلال مسافة قصيرة، حيث يتكون نتيجة ذلك مخروط من الرواسب عند مصب الأخدود يعرف بالمروحة الفيضية (الطميية) alluvial fan . وحيث إن الحطام الصخري الأكبر حجما يترسب أولاً، فإن رأس المروحة يكون أكثر انحداراً، أي ما يقارب ١٠ – ١٥، ويقل حجم الرواسب ودرجة الانحدار كلما تحركنا أسفل المروحة. حتى تتدرج مع قاع الوادي الذي يصب فيه المجرى المائي. ويوضح الفحص الدقيق لسطح المروحة الفيضية (الطميية) أن قنوات المجرى المائي على سطح المروحة يكون من النمط المجدول braided pattern، حيث يختنق المجرى المائي بالرواسب، مما يجعله يتفرع ويتلاقى مرات عديدة مكونا الكثير من لمجاري المتعرجة. وتزيد المروحة الفيضية (الطميية) في الحجم مع مرور الزمن، حيث تلتحم في النهاية مع مرواح من أخاديد متجاورة لتكون غطاء من الرواسب تسمى بجادا (منحدر طميي) bajada (من الإسبانية بمعنى منحدر) عند قاعدة الجبل، ويكون سطحها متموجا نتيجة تحدبات المراوح التي تكونها. وقد تتكون البجادا عندما تكون الأخاديد متقاربة عند قاعدة الجبل.

ب – البيدمنت (السفوح الجبلية) تعتبر البيدمنت (السفح الجبلي) أحد أهم الملامح الأرضية المميزة للمناطق الجافة. والبيدمنت (السفح الجبلي) pediment رصيف من صخر الأساس واسع ولطيف الانحدار يشكل عتبة أمام سلسلة جبال في المناطق الجافة، حيث تم تعرية وتراجع مقدمة الجبل من الوادي . وقد تتغطى بعض أجزاء البيدمنت بطبقة رقيقة من الرمل الطمي والحصى وتنحدر بعيداً عن قاعدة الأرض المرتفعة. ويوضح القطاع المستعرض (البروفيل) في بيدمنت نموذجي وفي الجبال المجاورة لها مثل القطاع المستعرض في المروحة الطميية أن منحدر الجبال يكون شديد الانحدار ثم يستوي فجأة في منحدر البيدمنت اللطيف الانحدار.

والطريقة التي تتكون بها البيدمنت غير واضحة تماما، إلا أن هناك بعض الأدلة على أنها قد تتكون نتيجة تغيير المجاري المائية لمجراها بسبب وجود جبال في مسارها. وتتراجع تلك الجبال في الوقت نفسه وهى مازالت محتفظة بشدة انحدارها، بلاً من أن تصبح أكثر استدارة وأقل حدة في الانحدار كما يحدث في المناطق الرطبة.

ج – الجبال المنعزلة (الجزيزية) :

الجبال المنعزلة (الجزيزية) inselbergs عبارة عن جبال أو تلال مفردة ناتئة وسط أرض واسعة منبسطة، وهو مصطلح مشتق من لفظة ألمانية تعني جبالاً جزيرية. وهى تشبه الجزر الصخرية الناتئة وسط المحيط. وتتميز بوجود قمم بارزة، إلا أنها مستديرة ملساء وذات جوانب شديدة الانحدار تكاد تكون رأسية. وهى تنشأ في بيئات عديدة تتراوح بين البيئة الساحلية وحتى الداخلية، ومن البيئات الجافة (القاحلة) إلي الرطبة. ومع ذلك فإن الجبال المنعزلة تكون أكثر شيوعاً في الأراضي شبه الجافة في وسط القارات المستقرة تكتونيا. وتوجد أمثلة عليها في جنوب ووسط أفريقيا وشمال غرب البرازيل ووسط استراليا.

د – الميسات (الربوات) والبيوتات (التلال النضيدية) :

يتكون نتيجة طغيان البحر الضحل وانحساره تتابع من طبقات الرمل والطفل، أو الحجر الجيري والطفل. وعادة ما يكون الطفل صخرا ضعيفاً غير مقاوم للتعرية، بينما تكون طبقات الحجر الرملي والجيري أكثر مقاومة نسبياً. وعندما تعمل التعرية في مثل هذا التتابع من الصخور، فإن طبقات الحجر الرملي أو الحجر الجيري المقاومة للتعرية تكون غطاء يحمي ما تحته يعرف بصخر الغطاء cap rock، مما يؤدي التعرية إلي تكون هضبة plateau مستوية القمة تقريباً. وتؤدي التعرية وتراجع المنحدر على امتداد حافة الهضبة إلي تكون جروف على امتداد الطبقات المقاومة للتعرية ومنحدرات على امتداد الطبقات الضعيفة. ويعتبر هذا مثال شائع على التفوت في التعرية.

ومع تقدم التعرية، فإن جزءاً كبيراً من الهضبة يزال لكي تتكون ميسا (ربوة) mesa (من الإسبانية بمعنى منضدة)، وهى عبارة عن أرض مرتفعة تشبه المنضدة يتكون سطحها العلوي المنبسط من طبقات مقاومة للتعرية، بينما تكون منحدراتها شديدة مثل الهضبة. وتنكمش الميسا بدورها نتيجة تراجع المنحدرات على كل الجوانب، لكي بيوت (تلاً نضدياً أوتبة) butte (من الفرنسية بمعنى تل صغير). وتستمر التعرية في التلال النضدية لتتكون تلال مستدقة القمة pinnacles، والتي تختفي في النهاية مع استمرار التعرية.

– التصحر :

تتعرض مناطق المناخ المداري وشبه المداري لسنوات من القحط المدمر، يتبعها سنوات تتساقط فيها أمطار غزيرة قد تؤدي إلي حدوث فيضانات. وتظهر التسجيلات المناخية أن هناك تبادلا بين فترة تدوم لسنتين أو ثلاث سنوات من القحط أو ندرة المطر وفترة أخرى قد تدوم لعدة سنوات من تساقط أمطار متوسطة أو فوق متوسطة. وهذا التغير سمة دائمة مميزة للمناخ المداري الرطب الجاف، حيث تتكيف البنباتات والحيونات في تلك المنطقة مع هذا التغير الطبيعي في معدل سقوط الأمطار، باستثناء واحد هو الإنسان.

ويقع في المنطقة جنوب الصحراء الكبرى في شمال أفريقيا حزام من الأرض العشبية الجافة يضم عددا من الدول، حيث يتراوح المعدل السنوي لسقوط الأمطار في هذا الحزام من ١٠٠ إلي ٣٠٠مم، يتساقط معظمها خلال موسم مطر واحد قصير. ويسمى هذا الحزام بالساحل Sahel أو النطاق الساحلي Sahelin zone. وقد تعرض الساحل لأسوأ موجة قحط في القرن العشرين (١٩٦٨ -١٩٧٤م)، حين لم تتساقط الأمطار لعدة سنوات متتالية مما تسبب في امتداد الصحراء المجاورة جنوبا لمسافة وصلت أحيانا إلي ١٥٠كم. وقد امتد القحط من المحيط الأطلنطي إلي المحيط الهندي لمسافة حوالي ٦٠٠٠كم، وأثر في حوالي ٢٠ مليون نسمة على الأقل، معظمهم من الرعاة الرحل. وترجع شدة القحط إلي زيادة عدد السكان إلي الضعف خلال الفترة من عام ١٩٣٥م حتى عام ١٩٧٠م، بالإضافة إلي زيادة عدد الماشية بشكل مثير. وقد أدت زيادة عدد السكان والحيونات إلي زيادة معدل الرعي لدرجة أنه عند حدوث القحط، فشل الغطاء النباتي الموجود في تغطية حاجة السكان كما نفق ٤٠% من الماشية التي وصلت إلي عدة ملايين. وقد عانى ملايين البشر من الظمأ والجوع بينما مات الكثير منهم وهاجر الملايين جنوبا بحثا عن الطعام والماء. وقد عاودت الأمطار السقوط في منتصف السبعينات. وأثرت ظروف القحط في عام ١٩٨٠م على أثيوبيا والسودان حيث انتشرت أيضاً المجاعة.



ويسمى غزو الصحراء لمناطق غير صحراوية بالتصحر. وبتفصيل أكثر فإن التصحر desertification هو التحول الدائم لسطح الأرض حتى يشبه الصحراء، بسبب النشاط الإنساني المدمر لحشائش الرعي والشجيرات والأشجار والرعي الجائر واستخدام أخشاب الأشجار كوقود، بالإضافة إلي السحب الزائد للمياه الجوفية. وقد يستخدم مصطلح التصحر بدلاً من مصطلح تدهور إنتاجية الأرض الزراعية land degradation. وقد تساعد تراكمات الرواسب في قنوات المجاري المائية وإزالة التربة بالرياح في عملية التصحر. كما قد ينشأ التصحر من تغييرات بيئية طبيعية تؤدي إلي الجفاف، بالإضافة إلي النشاط الإنساني.

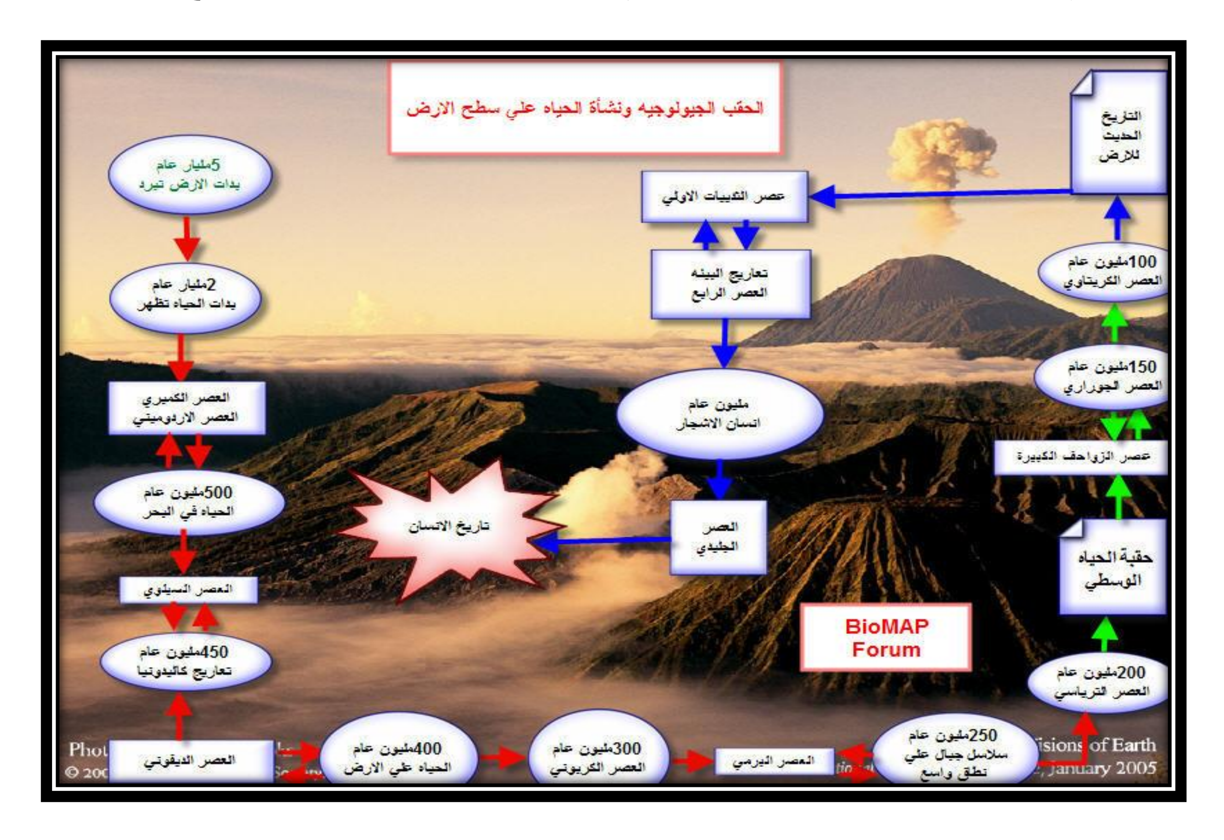
وتبدأ مظاهر التصحر الرئيسية بانخفاض مستوى الماء الجوفي وزيادة ملوحتها، وزيادة ملوحة الأجزاء العليا من التربة (التربة السطحية topsoil)، وانخفاض إمدادات الماء السطحي، وزيادة غير عادية في تعرية التربة وهلاك الزراعات المحلية ونفوق الماشية.

ومن المناطق التي ينتشر فيها لتصحر دولة موريتانيا في شمال غرب أفريقيا، حيث يحاول السكان أن ينظموا أنفسهم في مجموعات لمقاومة الجفاف. كما قام السكان بتشجير أماكن عديدة من الصحراء، وتوزيع أنابيب غاز صغيرة ليستعينوا بها في طهو طعامهم بدلا من قطع الأشجار واستخدامها كوقود. كما قامت الحكومة الموريتانية ببناء سدود وخزانات للمحافظة على المياه.

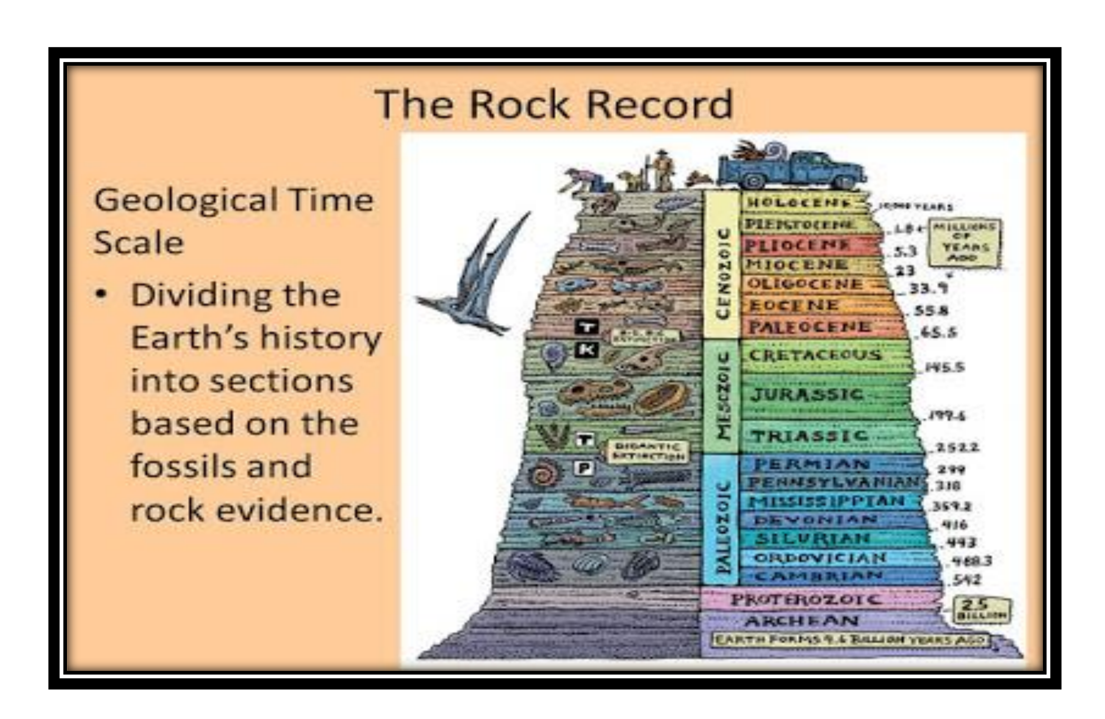
الفصل الخامس عشر: الزمن الجيولوجي



علم الزمن الجيولوجي أو (علم التقويم الجيولوجي أو علم التأريخ الجيولوجي) هو علم تحديد العمر الحقيقي للصخور والاحافير، والرواسب . ويستخدم الجيولوجيين مجموعة أساليب لتحقيق ذلك . تعدد التخصصات تقرب من استخدام أساليب متعددة قد تحقق نتائج أفضل أحيان التاريخ الجيولوجي يختلف عن دراسة الطبقات الحيوية في التطبيق ، وهو علم تصنيف الصخور الرسوبية لمعرفة الفترة الجيولوجية عبر تصويرها وفهرستها ومقارنة الأحافير النباتية والتركيبات الحيوانية. دراسة الطبقات الحيوية لا تحدد العمر الحقيقي للصخور بشكل مباشر بل مجرد تصنف في الفترة الزمنية التي تعايشت فيه التجمعات الأحفورية. كل التخصصات تعمل معا جنبا إلى جنب ، إلى النقطة التي يشتركان فيها بنفس نظام التسمية لطبقات الصخور والوقت الذي المبذول لتصنيف الطبقات إلى شرائح.



علم التاريخ الجيولوجي هو الأداة الرئيسية المستخدمة في تاريخ طبقات الصخور ، الذي يسعى لمعرفة تاريخ العمر الحقيقي لكل المجموعات الأحفورية وتحديد التاريخ الجيولوجي للأرض والمعالم الخارجية للأرض._يتم تقسيم تاريخ الأرض إلي سلم زمن جيولوجي علي أساس :



1-الأحداث الجيولوجية الكبرى :

يقصد بها الأحداث الكبري التي تعرضت لها القشرة الأرضية والتي كان لها أثر تركته في صخور القشرة الأرضية مثل طغيان مياه المحيطات علي القارات ، وتغطية مساحات واسعة منها وترسب كميات هائلة من الرسوبيات الغنية بالأحافير ، وما يترتب عن ذلك من إنقطاع الترسيب وتعرية الصخور.

2- **تغير أنواع الحياة على الأرض :**

يتم تقسيم سلم الزمن الجيولوجي إلي ثلاثة أزمنة كالتالي :

1- زمان اللاحياة .
2- زمان الحياة المستترة .
3- زمان الحياة الظاهرة.

استغرق وضع السجل الجيولوجي بشكله الحديث حوالي قرنين من جهود الجيولوجيين والعلماء بصورة عامة ، وكان اعتمادهم في المرحلة الأ ولى على تحديد التاريخ النسبي للطبقات ومن ثم تمكنوا من ترتيب السلم الزمني للسجل الجيولوجي (Geologic Time Scale)، وباستخدام الساعات النووية في تحديد التاريخ المطلق للصخور والاحداث الجيولوجية على الكرة الأرضية ، وبذلك استطاع العلماء أن ينسبوا أي حدث إلى فترته الزمنية، بحيث حدد عمر كل دهر وحقبة وعصر وكل حدث جيولوجى بوحدات الزمن المطلق بدلالة ملايين السنين .

دهر (Eon)	حقبة (Era)	عصر (Period)	حين (Epoch)	أهم انواع الحياة	السلم الزمني (مليون سنة)
بعد دهر الحياة المعروفة أو ما الكمبري)Phanerozoic Eon (	حقبة الحياة الحديثة)Cenozoic Era)	الرباعي (Quaternary)	الحديث (Recent) بليستوسين (Pleistocene)	عصر الإنسان	2
		الثلاثي (Terti ary)	البليوسين (Pliocene)	عصر الماموث	7
			الميوسين (Miocene)	عصر الحيوانات العصرية	26
			اليجوسين (Oligocene)	عصر آكلات الأعشاب ومنها الجمل	37
			ايوسين (Eocene)	عصر الفيلة الأولى	57
			باليوسين (Paleocene)	عصر الخيول الأولى	65
	حقبة الحياة المتوسطة (Mesozoic Era)	الكريتاسسي (Cretaceous)		عصر الديناصور الأخير	144
		الجوارسي (Jurassic)		عصر الديناصور المتوسط	208
		الترياسي (Triassic)		عصر الديناصور الاول	245
	حقبة الحياة القديمة (Paleozoic Era)	البرمي (Permian)		عصر الزواحف الأولية	286
		الكروبوني (Carboni Ferous)		عصر المستنقعات والبرمائيات	360
		الديفوني (Devonian)		عصر الأسماك	408
		السيلوري (Silurian)		عصر العقارب المائية ونباتات اليابسة	438
		الأردوفيشي (Ordovician)		عصر الرخويات العملاقة	505
		الكمبري (Cambrian)		عصر ثلاثية الفصوص	570
عصر الحياة الخفية	الحقبة البدائية (Proterozoic)				2500
	الحقبة السحيقة (Archeozoic)				4600

ويتعامل الجيولوجيون مع نوعين من الزمن:

١- الزمن النسبي:

يعرف الزمن النسبي relative time بأنه ترتيب الأحداث الماضية ترتيبا زمنيا حسب ترتيب وقوعها. أما الزمن المطلق absolute time فهو الزمن المقدر بالسنوات منذ وقوع حدث ما. ويشبه تحديد العمر النسبي معرفة أن الحرب العالمية الأولى سبقت الحرب العالمية الثانية.

٢- الزمن المطلق:

العمر المطلق فهو معرفة عدد السنين منذ أن بدأت وانتهت كل منهما.

وقد كان جيمس هاتون James Hutton أول من فهم المعنى الحقيقي للزمن النسبي في الجيولوجيا. ولم يكن لدى هاتون أية وسيلة لقياس الزمن المطلق في تاريخ الأرض، ولكن استطاع هاتون أن يثبت أن تتابع الأحداث الجيولوجية القديمة في أسكتلندا قد حفظ في السجل الصخري، حيث يمكن استخدام الصخور التي تكونت في الماضي وحفظت من التعرية كذاكرة للأرض لتسجيل الأحداث الجيولوجية الماضية.

وقد استطاع تشارلز ليل Charles Lyell ، وهو أسكتلندي الأصل مثل هاتون، استخدام اكتشاف هاتون لتحديد العمر النسبي لكل الأحداث الجيولوجية. وقد أدرك ليل أن بعض العمليات الجيولوجية البطيئة مثل التعرية، تعني أن الزمن الجيولوجي النسبي تقابله فترات زمنية مطلقة ضخمة. ولم يستطيع ليل أن يتخطى هذا التفكير بالنسبة للزمن الجيولوجي، حيث كانت تنقصه وسيلة تقدير العمر المطلق مثل هاتون، نظراً لأن النشاط الإشعاعي (إشعاع ذري)، وهو الطريقة الدقيقة لتقدير الزمن المطلق، لم يكن قد اكتشف بعد. والنشاط الإشعاعي هو ساعة طبيعية تدق باستمرار فتترك سجلا محفوظا لهذه الدقات في الصخور. ولقد أظهر سجل الساعة الإشعاعية أن عمر الأرض يقدر ب٤,٨ بليون سنة. وهذا العمر الزمني الجيولوجي أكبر بكثير جدا مما تخليه ليل أو أي من رفاقه. لذلك فإن إدراك هذا الامتداد الزمني الطويل جداً يعتبر عملية صعبة جداً، لأننا نقيس الزمن منسوباً لعمر الإنسان، وهو ما يمثل مجرد لحظة في الزمن الجيولوجي. وهناك وسيلة لإدراك طول الزمن الجيولوجي استخدمها دون إيشر Don L Eicher عام ١٩٦٨م في كتابه "الزمن الجيولوجي" حيث مثل كل الزمن الجيولوجي وهو ٤,٦ بليون سنة بسنة ميلادية واحدة طولها اثنا عشر شهرا. تمتد من يناير حتى ديسمبر.

ويكون ترتيب الأحداث الجيولوجية المهمة خلال هذه السنة على النحو التالي:

- الفترة من أول يناير حتى منتصف شهر مارس، فترة مفقودة من تاريخ الأرض.
- يرجع عمر أقدم الصخور على وجه الرض إلي منتصف شهر مارس.
- خلق أقدم كائن على وجه الأرض في البحار في شهر مايو.
- انتقلت النباتات والحيوانات إلي اليابس في نهاية شهر نوفمبر.
- تكونت رواسب الفحم السميكة في أوروبا وأمريكا في بداية شهر ديسمبر.

- وصلت الديناصورات إلي قمة انتشارها في منتصف شهر ديسمبر. اختفت الديناصورات من على وجه الأرض في ٢٦ ديسمبر.
- ظهرت القردة العليا الشبيهة بالإنسان في ليلة ٣١ ديسمبر.
- بدأت أحداث المثالج القارية continental glaciers في التراجع والتقلص من منطقة البحيرات العظمى في كندا وشمال أوروبا قبل حوالي دقيقة واحدة و١٥ ثانية قبل منتصف ليلة ٣١ ديسمبر.
- حكمت روما العالم الغربي لدة ٥ ثواني من الساعة ١١:٥٩:٤٥ إلي ١١:٥٩:٥٠ قبل منتصف ليلة ٣١ ديسمبر.
- اكتشف كولومبس أمريكا قبل ثلاث ثوان من منتصف ليلة ٣١ ديسمبر.
- ظهر علم الجيولوجيا على يد جيمس هاتون قبل حوالي ثانية واحدة من نهاية العام.

- العمر النسبى :

تختلف الطرق التي يقيس بها الجيولوجيون الزمن عن كل طرق قياس الزمن التي عرفها الإنسان على امتداد تاريخه. فالأحداث التاريخية دونتها البشرية وتناقلتها من جبل إلي جبل. ونحن معتادون على أنواع معينة من مقاييس الزمن التاريخي. ونحن نتذكر من حين لآخر تواريخ محددة ذات أهمية خاصة في حياتنا. ويمكن ترتيب هذه الأحداث على مقياس الزمن ترتيبا متسلسلا من الأقدم إلي الأحدث ، كما يمكن تحديد أعمارها المطلقة مقدرة بالسنين.

ويشمل الزمن الجيولوجي الأحداث التي وقعت في فترة ما قبل التاريخ بداية من نشأة الأرض، مرورا بكل الأحداث التي شكلت الأرض حتى اليوم، مرتبة ترتيبا متسلسلا حسب تاريخ وقوعها. وتقدر الأزمنة بملايين السنين من الآن، ويعبر عنها اختصارا بالرمز Ma. وقد سجل هذا الزمن الجيولوجي في صخور صفحات وفصول الكتاب الذي يحوي أسرارا تكوين الأرض في الماضي.

وفي الحقيقة فإن مقياس الزمن الجيولوجي يشمل مقياسين هما: المقياس النسبي والذي يعبر عن ترتيب الأحداث الجيولوجية كما حددت من خلال وضعها في السجل الصخري. وتطلق على الفترات المختلفة منالزمن الجيولوجي مسميات مميزة مثل: الكمبريوالبرمي والطباشيري. أما المقياس الثاني فهو المقياس المطلق والذي يقدر الأعمار بعدد السنين مقدرة بملايين السنين من الآن (Ma). وتبنى هذه الأعمال على التحلل الإشعاعي الطبيعي لعناصر كيميائية مختلفة، توجد بكميات قليلة في معادن معينة في بعض الصخور. ويمثل الإلمام بقواعد تقدير العمر النسبي والمطلق حجر الزاوية في فهم تاريخ الأرض.

والسؤال الذى يطرح نفسه: كيف أمكن لعلماء الأرض أن يقرأوا ويفكوا شفرة التاريخ المسجلي هذه الصخور؟، وكيف رتبوا الأحداث الجيولوجية في إطار زمني متسلسل؟.

وسنحاول في هذا الفصل أن نختبر الطرق الرئيسية التي اتبعها علماء الأرض لتحديد الزمن. كما سنعرف التطور التاريخي لمفاهيم الزمن الجيولوجي ومولد وتطور العمود الجيولوجي.

ونبدأ بمناقشة وسائل تقدير العمر النسبى فى الجيولوجيا:

أ - السجل الطبقى (الاستراتجرافى) :

من بين أنواع الصخور الثلاثة (النارية والرسوبية والمتحولة)، والتي تكون القشرة الأرضية، فإن الصخور الرسوبية تمدنا بسجل أكثر اكتمالا لتاريخ الأرض. وعلى الرغم من أن الصخور النارية تمثل أكثر من ٩٠% من حجم القشرة الأرضية، فإن الصخور الرسوبية تمثل أكثر من ٧٥% من الصخور المكشوفة على سطح الأرض أو توجد في الكيلومترات القليلة القريبة من السطح. وتمثل الطباقية stratification أو bedding التي توجد في الصخور الرسوبية أهمية خاصة في بناء تاريخ الأرض، حيث تسمح الطباقية بوضع ترتيب وتنظيم وتحديد للتتابعات الطبقية stratigraphic sequences.

ويعرف علم الطبقات (الاستراتجرافيا) stratigraphy بأنه العلم الذي يدرس الصخور الطباقية أو الطبقات ومضاهاتها. وهو يدرس العلاقات المكانية والزمنية بين أجسام الصخور وديناميكية ترسيبها، والتي يمكن ملاحظتها وتفسيرها. وتنتج الطباقية من ترسيب وتجمع الحبيبات الصلبة، والتي تستقر على القاع من الماء أو الهواء تحت تأثير الجاذبية الأرضية في هيئة طبقات beds متتالية متعاقبة.

وتحدث عملية الترسيب بشكل دوري تعكس فترات ترسيب يعقبها فترات سكون أو توقف للترسيب. وهذا النشاط الدوري في الترسيب هو المسئول أساسا عن الأنسجة المختلفة التي تلاحظ في الطبقات المتتالية، وأيضا في أسطح الطباقية bedding planes التي تفصل بينها. وتحدث عملية الترسيب في أحواض ترسيب مختلفة الأحجام. وتتصلد الرواسب وتتصخر نتيجة للدفن تحت طبقات لاحقة لها، مما يزيد من وضوح أسطح الطباقية والحدود بين الطبقات.

١ – القواعد الأساسية لتحديد العمر النسبى:

هناك عدة قواعد أساسية تستخدم لتفسير الأحداث الجيولوجية في السجل الصخري، يمكن توضيحها فيما يلي:

أ – قاعدة تعاقب الطبقات priniciple of stratigraphic superposition:

هى إحدى القواعد الأساسية لعلم الطبقات، وتنص على أن كل طبقة في التتابع الرسوبي الذي لم يتعرض لأية قوى تكتونية تكون أحدث عمرا مما تحتها وأقدم في العمر من الطبقة التي تعلوها . ويعتبر تطبيق قاعدة التعاقب الطبقي هو الخطوة الأولى في تقدير العمر النسبي في الصخور الطباقية.

وحيث إن قاعدة التعاقب الطبقي تحتم عدم تعرض التتابع الطبقي لتأثيرات تكتونية، فإنه من المهم أن نعرض لقاعدة أخرى علم الطبقات تعالج التاريخ النسبي في التتابعات المتأثرة بالعمليات التكتونية، وهو ما يعرف بقاعدة الأفقية الأصلية.

ب – قاعدة الأفقية الأصلية: Principle of original horizontality

وهى تنص على أنه ليس فقط عملية الترسيب التي تحدث من أسفل لأعلى (وبالتالي تتجمع الرواسب في طبقات متلاحقة)، ولكن أيضا أسطح الترسيب، والتي تكون مستوية أساسا ولا تميل إلا بدرجات قليلة عن الأفقي، لأن الأسطح التي تتجمع فوقها الرواسب (والتي تفصل بين الرواسب من جهة والماء أو الهواء من جهة أخرى) تكون أفقية أساسا، وتتجمع فوقها الحبيبات تحت تأثير الجاذبية. وعلى الرغم من أن التطابق المتقاطع cross – bedding والذي سبق مناقشته أثناء دراسة الصخور الرسوبية، يكون مائلا، إلا أن التوجه الكلي لوحدات التطبق المتقاطع تكون أفقية. وعندما نشاهد تتابعات طبقية تميل على الفقي بشكل واضح، فإن هذا يعزي إلي أن أحداث ما بعد الترسيب أدت إلي ميلها. فإذا مال تتابع طبقي أكثر من الوضع الرأسي سمى التتابع الطبقي معكوس الوضع reversed ويكون وضع الطبقات مقلوبا overturned. وتعمل القوى التكتونية على إمالة وطي وتكسير الطبقات الصخرية الموجودة في القشرة الأرضية.

ويحتم تحديد ترتيب الطبقات في التتابع الطبقي الرسوبي أن نحدد بشكل دقيق سمات السطح العلوي والسفلي للطبقات. وتكون هذه السمات عبارة عن تراكيب رسوبية أولية تتكون عند ترسيب الرواسب. وتوجد التراكيب الرسوبية على السطح الخارجي للطبقات، كما قد توجد داخل الطبقات أيضا .

ج – قاعدة الاستمرارية الجانبية الأصلية: Principle of original lateral continuity

تترسب الصخور الرسوبية في أجسام ثلاثية الأبعاد، وتمتد أفقيا في كل الاتجاهات حتى تتلاشى عند حافة حوض الترسيب الذي تترسب فيه، أو تتغير خواصها إلي نوع آخر من الرواسب. ويتحدد امتداد الطبقات أفقيا من خلال عملية المضاهاة correlation. فعندما تضاهى المنكشفات المنفصلة للوحدة الصخرية نفسها بشكل صحيح، فإنها تدل على أن هذه المكشفات عبارة عن أجزاء مما كان وحدة واحدة متصلة في الأساس.

وتحمل الطبقات الرقيقة الواسعة الانتشار التي لها صفات خاصة مميزة أهمية زمنية، أي تعبر عن لحظة زمنية محددة يمكن استخدامها كخطوط تعبر عن التساوي الزمني عند إجراء المضاهاة. وتعتبر هذه الوحدات الفيزيائية المتماثلة متزامنة جيولوجيا على امتداد منطقة تواجدها، مثل طبقات الرماد البركاني والتي تأخذ شكل الفريشة (الملاءة) blanket تترسب من التدفقات البركانية. وتقدم هذه الطبقات الدالة key or marker beds وسيلة مضمونة على نطاق شبه إقليمي لإجراء المضاهاة.

د – قاعدة علاقات القطع المستعرض: Principle of cross – cutting relationships

من المباديء المهمة المستخدمة في تحديد العمر النسبي قاعدة علاقات القطع المستعرض. ويدل مفهوم هذه القاعدة على أن أي شيء يقطع طبقة من الصخور الرسوبية أو أي نوع من الصخور يكون أحدث عمرا من الطبقة الرسوبية أو تلك الصخور، بمعنى أن القاطع يكون أحدث عمرا من المقطوع، فأجسام

الصخور النارية المتداخلة (مثل: القواطع dikes) والصدوع تقطع الصخور والتراكيب السابقة عليها في التكوين، وبالتالي فهى أحدث عمرا منها .

هـ - قاعدة المكتفات (المتداخلات): Principle of inclusions

وهى تنص على أن الفتات والحبيبات التي توجد في صخر تكون أقدم عمرا من الصخر نفسه. فإذا احتوت طبقة ما على فتات من طبقة أو جسم ناري مجاور كانت تلك الطبقة الأخيرة أو الجسم الناري أقدم عمرا والعكس صحيح .

و – قاعدة التتابع الحفري: succession Principle of fossil

لعبت قاعدة التتابع الحفري دورا رئيسيا في تطور علم الجيولوجيا التاريخية، وهى تنص على أن كل طبقة أو مجموعة من الطبقات في التتابعات الرسوبية تحتوي على حفريات مميزة تختلف عما تحتها ومافوقها. وتمثل الحفريات fossils بقايا كائنات حية قديمة أو آثارها، وهى تساعد كثيرا في تحديد العمر النسبي للصخور الرسوبية. وقد دعمت قاعدة التتابع الحفري قاعدة التعاقب الطبقي كثيرا، لأن الحفريات ليست كالحبيبات غير العضوية تتواجد عشوائيا، وإنما تتواجد بنظام محدد يمكن تتبعه. فأنواع الصخور يمكن أن تتكرر كثيرا في التتابعات الطبقية الرأسية بتكرار ظروف الترسيب، بينما تتغير المجموعات الحفرية باطراد رأسيا ولا تتكرر أبدا بسبب نظام الذي لا يعيد الكائن المنقرض مرة ثانية. ويسمى هذا الترتيب الطبقي للحفريات بالتتابع الحفري (تتابع المجموعة الحيوانية faunal succession).

س – بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة: Paleomagnetic signatures

من الإضافات المهمة التي حدثت في القرن العشرين إلي علم الطبقات اكتشاف بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة paleomagnetism في الصخور.حيث يظهر في صخور التتابعات الطبقية تتابع من أحداث القطبية المغناطيسية (أي اتجاه المجال المغناطيسي للأرض في وقت ما)، من القطبية العادية أي المماثلة لاتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض والقطبية المعكوسة أي يكون اتجاه المجال المغناطيسي عكس اتجاه المجال الحالي، حيث يكون قطب الأرض الشمالي متجهاً نحو الجنوب الحالي. ولقد تعرض المجال المغناطيسي للأرض للانقلاب كثيرا طوال تاريخ الأرض الطويل، كما تغير موضع الأقطاب المغناطيسية كثيرا جدا أيضا بسبب حركة الكتل المتقاربة بالنسبة للأقطاب. وهذا يقدم وسائل أخرى لتقسيم التتابعات الطبقية، كما يمكن به إجراء المضاهاة بين التتابعات الطبقية المتباعدة أيضا.

٢ – عدم التوافق:

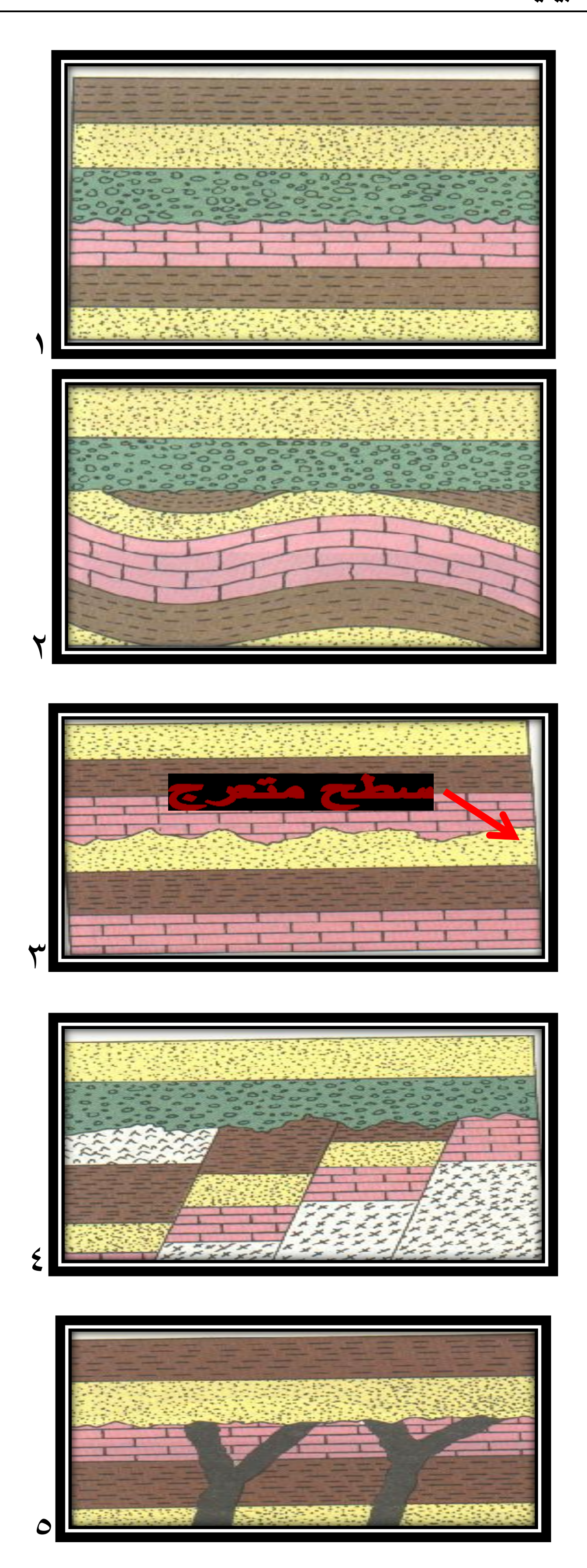
من الظواهر الطبقية المهمة التي تفيد كثيرا في تحديد العمر النسبي والتاريخ الجيولوجي ما يعرف بعلاقة عدم توافق unconformity. ويعرف عدم توافق بأنه سطح تعرية أو عدم ترسيب مدفون، ولالتالي فهو يعبر عن جزء مفقود من السجل الجيولوجي نتيجة العرية وعدم الترسيب . فعدم التوافق هو سطح بين طبقتين يفصل بينهما فاصل زمني.

وهناك أربعة أنواع من عدم التوافق هي:

١ – عدم التوافق التبايني: nonconformity وهو سطح طبقي يفصل بين صخور متبلورة (نارية أو متحولة) أقدم عمرا وأخرى رسوبية أحدث عمراً.
٢ – عدم التوافق الزاوي: angular unconformity وهو سطح تعرية يفصل بين مجموعتين من الطبقات مختلفتين في زاوية الميل. عدم التوافق الزاوي في المنطقة شمال حمام فرعون – سيناء – مصر، عدم توافق تبايني في الواحات البحرية بمصر.
٣ – عدم التوافق التخالفي: disconformity وهو نوع يصعب تعرفه، حيث يوجد سطح تعرية متعرج يصعب تعرفه، حيث يوجد سطح تعرية متعرج الشكل بين طبقات متوازية، وفيه يقطع سطح عدم التوافق أسطح الطباقية، ويكون الشاهد عليه وجود دليل على حدوث عملية تجوية مثل وجود فتات من الصخور التي تليه في الصخور التي تعلوه، مثل صخر الكونجلومرات.
٤ – شبه التوافق: Paraconformity وهو أصعب أنواع عدم التوافق، حيث يعتمد تعرفه على اختلاف عمر الطبقات التي تليه عن الطبقات تعلوه، ويكون الشاهد عليه اختلاف المحتوى الحفري لكلا التتابعيين أسفله وأعلاه.

أدلة عدم التوافق في الطبيعة :

١- وجود إختلاف واضح في اتجاة ومقدار ميل الطبقات علي جانبي التماس بين طبقات قديمة وأخري أحدث منها.
٢- وجود طبقة من الكونجلوميرات بين الطبقات تحتوي علي حصي من الصخر المكون للطبقة التي تقع تحت سطح عدم التوافق مباشرة.
٣- وجود سطح غير مستو (متعرج) بين مجموعتين من الطبقات.
٤- وجود صدع أو عدد من الصدوع في مجموعة من الطبقات وعدم وجودها في مجموعة أخري تعلوها.
٥- وجود قواطع من الصخور النارية في مجموعة من الطبقات وعدم وجودها في الطبقات التي تعلوها.
٦- عدم وجود مجموعة من الأحافير التي يتوقع وجودها في تتابع مستمر من الطبقات وتمثل هذه الأحافير المفقودة الطبقات التي لم تترسب في االنطقة أو الطبقات التي ترسبت ثم أزيلت بفعل عوامل التعرية قبل ترسيب الطبقات الأحدث.


١
٢
سطح متعرج
٣
٤
٥

ويعبر عن الفترة الزمنية المقابلة لعدم التوافق بثغرة ترسب (الثلمة) hiatus، وهى تساوي الفرق في الزمن بين الصخور التي تقع فوق سطح عدم التوافق وتلك التي تحته. وتجدر الإشارة إلي أن سطح عدم التوافق يمثل غيابا لفترة زمنية طويلة جيولوجيا. أما إذا كانت الفترة المفقودة من التتابع الطبقي قصيرة فإننا نشير إليها بالفصلة diastem. وفي العادة فإن عدم التوافق يشير إلي فقد لفترات زمنية تتراوح بين ملايين أو عشرات الملايين من السنين، بينما تعبر الفصلة عن فقد لفترات زمنية قصيرة نسبيا تصل إلي أسابيع أو شهور أو حتى قرون.

وتسمح القواعد الأساسية السابق ذكرها بتحديد العمر النسبي بالنظر إلي مجموعة رأسية من الطبقات، أو إلي أي تتابع طبقي (استراتجرافي) stratigraphic – sequence على أنه سجل مرتب زمنيا للتاريخ الجيولوجي لمنطقة ما. ويسمى الخط الزمني المقابل والموضوع على أساس هذا التتابع بالزمن الجيولوجي geologic time، وهو الممثل زمنيا لهذا التتابع، أي كسجل جزئي كامل للوقت الذي انقضى منذ ترسبت أقدم الطبقات في أسفل التتابع إلي أحدث الطبقات في أعلى التتابع (يستخدم مصطلح

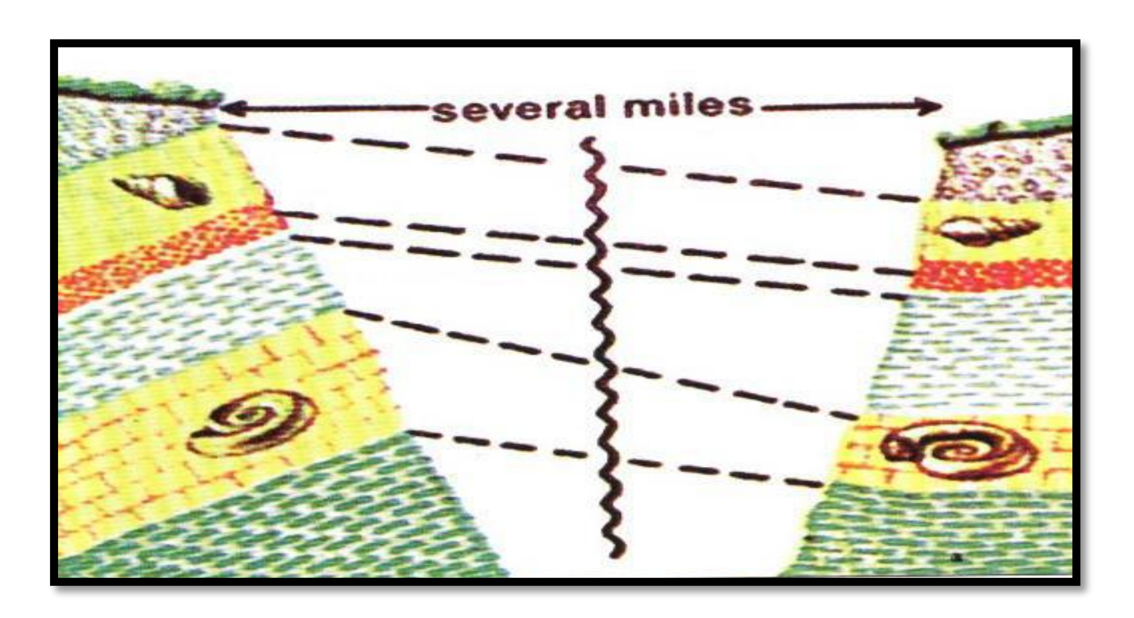
الزمن الجيولوجي أيضا للإشارة إلي الفترة الزمنية الممتدة، منذ انتهاء مرحلة تكوين الأرض ككوكب منفصل حتى بداية التاريخ المكتوب). وتختلف التتابعات الطبقية عن التتابعات الرسوبية التي تم مناقشتها في الفصل السابع. فالتتابعات الرسوبية هى تغيرات رأسية في التركيب الصخري للرواسب المتكونة في بيئة ترسيب واحدة. أما التتابع الطبقي فهو أشمل في التعريف ويضم طبقات واسعة التغيير لكل منها أصل مختلف. وبينما يتم التأكيد في التتابعات الرسوبية على طبيعة الأنواع المتتابعة من الرواسب فإن التأكيد في التتابعات الطبقية (الاستراتجرافية) يكون على التتابع الزمني للطبقات المكونة للتتابع وظروف الترسيب.

- مضاهاة الوحدات الصخرية:

تمكن المساح الإنجليزي وليام سميث William Smith عام ١٧٩٣م من تعرف أن الحفريات يمكن استخدامها لتحديد الأعمار النسبية للصخور الرسوبية. وقد لاحظ من خلال دراسة العديد من الحفريات أن الطبقات المختلفة كانت تحتوي على أنواع مختلفة من الحفريات، وأنه يمكن تمييز طبقة عن الأخرى باستخدام الحفريات المميزة لكل طبقة. ويسمى هذا الترتيب الاستراتجرافي للحفريات بالتتابع الحفري faunal succession.

وقد فتح هذا الاكتشاف الباب لعمل مضاهاة للطبقات الرسوبية على مساحات أوسع. **وتعنى المضاهاة** correlation تحديد التماثل بين أجزاء وحدة استراتجرافية مفصولة جغرافياً. وتشمل الوحدات الاستراتجرافية طبقة أو مجموعة من الطبقات من الطبقات تتميز ببعض الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية. ولقد قام سميث في بادئ الأمر بمضاهاة الطبقات على أساس التشابه في الخواص الفيزيائية (التركيب الصخري والمعدني)، بالإضافة إلي محتواها الحفري وذلك على مسافات تبلغ عدة كيلومترات، ثم بعد ذلك على مسافة عشرات الكيلومترات. ولقد أصبح من الممكن استخدام الحفريات وحدها في عمل مضاهاة بين تتابعات تفصل بينها مئات أو آلاف الكيلومترات.

ويشمل ما يعرف بقانون المضاهاة القواعد التي وضعها سميث للمضاهاة بين التتابعات الطبقية. وينص هذا القانون على أن: "الطبقات التي لها نفس التركيب الصخري والمعدني والتي تحتوي على حفريات متشابهة تنتمي إلي نفس العمر الجيولوجي".



المضاهاة الصخرية والاحفورية

<u>ويتضمن عمل المضاهاة هدفين أساسين:</u>

<u>الأول:</u> تحديد الأعمار النسبية للوحدات المنكشفة بالنسبة لبعضها البعض في المنطقة التي يتم دراستها.

<u>والثاني:</u> عمل مقارنة بين أعمار الوحدات بالنسبة إلي مقياس الزمن الجيولوجي. وتتم مضاهاة الوحدات الصخرية بعدة طرق ، تشمل أنواع الصخور المتشابهة والوضع في التتابع الطبقي والمحتوى الحفري.

وتستخدم مميزات الصخور مثل اللون وحجم الحبيبات والتراكيب الرسوبية التي تسمح بتميز كل وحدة صخرية عن الأخرى عند عمل المضاهاة بين الوحدات الصخرية، خاصة إذا كانت المنكشفات كافية. ومن الأهمية بمكان معرفة أن عملية مضاهاة الصخور يقابلها الكثير من الصعوبات عند تطبيقها، لذلك يجب مراعاة القواعد التي وضعها الجيولوجيون بعد سميث للتوصل لعمل مضاهاة دقيقة. فيجب عند استخدام قاعدة الاستمرارية الجانبية lateral continuity principle مراعاة أن تلك الطريقة يمكن استخدامها عند المضاهاة في حوض ترسيبي واحد، لأنه من المعروف أن الطبقات الرسوبية تستدق وتنتهي عند حواف أحواض الترسيب، كما أنها قد تتدرج إلي أنواع أخرى من الصخور نتيجة تغيرات السحنات. كما يجب مراعاة أن الاعتماد على التشابه الصخري فقط بين الطبقات لا يكفي كما ذكرنا إلا في حالات خاصة جدا. كذلك يجب مراعاة الوضع التركيبي للطبقات، حيث يمكن استخدام وضع الطبقات بالنسبة إلي تركيب تكتوني معين (مثل عدم التوافق مثلا) مما يساعد على مضاهاة الطبقات.

ولكن قد تؤدي بعض الأوضاع التكتونية إلي تغير وضع الطبقات مما لا يسمح بتطبيق قاعدة تعاقب الطبقات. فعند ملاحظة ميل الطبقات والتوائها مثلما يحدث أثناء التصادم القاري، فإن التشوه قد يكون كبيرا لدرجة أن الطبقات الأقدم قد تأتي فوق الطبقات الأحدث. وبالتالي فإن الاستنتاجات المبينة على الطبقات المقلوبة قد تؤدي قطعا إلي نتائج غير صحيحة عند تقدير الزمن النسبي للطبقات. ويمكن استخدام بعض الأدلة مثل علامات النيم والتطبيق المتدرج والتطبيق المتقاطع لتحديد ما إذا كانت الطبقات في الوضع الصحيح أم أنها قلبت .

كما يمكن عمل المضاهاة بين الوحدات الصخرية عن طريق الوضع في التتابع الطبقي والطبقة الدالة key bed مثل طبقات الفحم والرماد البركاني. وتكون مثل هذه الطبقات مهمة عند عمل مضاهاة بين تتابعات صخرية، خاصة على نطاق إقليمي. وتستخدم الحفريات للدلالة على زمن الوحدات الصخرية، حيث تمثل تلك الحفريات بقايا لكائنات حية عاشت لفترة زمنية خلال الزمن الجيولوجي الماضي.

وتسمى الحفرية التي تستخدم في تحديد عمر الطبقات التي تحتويها، **بالحفرية المرشدة (الدالة) index fossil**. **<u>ولكي تكون الحفرية مرشدة</u>**: فإننا يجب أن تكون شائعة في الطبقات ولها توزيع جغرافي واسع، ومدى زمني محدد. ومن أحسن الأمثلة على الحفرية المرشدة الكائنات الحية الطافية والتي تتميز بتطور سريع وانتشار جغرافي . وإذا تم تعرف حفرية دالة في منكشف ما، فإن عملية المضاهاة تصبح سهلة وموثوق فيها. ويمكن بذلك عمل مضاهاة باستخدام التتابع الحفري fossil succession.

وبالإضافة إلي المضاهاة بين الوحدات الصخرية المنكشفة فوق سطح الأرض، فإنه يمكن المضاهاة بين الوحدات الضخرية تحت السطحية عند البحث عن المعادن والفحم والبترول باستخدام تسجيلات الآبار well logs التي توضح الخصائص الفيزيائية المقاسة للقطاع الصخري أثناء الحفر، والعينات الأسطوانية cores التي يتم الحصول عليها من الآبار، وأيضا شظايا الحفر cuttings التي تخرج إلي سطح أثناء حفر الآبار.

وقد استطاع الجيولوجيون خلال القرنين الماضيين باستخدام التتابعات الحفرية والتتابعات الاستراتجرافية أن يضاهوا المتكونات في جميع أنحاء العالم ليخرجوا بنتيجة هذا الجهد، وهو مقياس الزمن الجيولوجي لكل الأرض.

<u>- العمر المطلق:</u>

ناقشنا حتى الآن القواعد التي يمكن على أساسها ترتيب التتابعات الطبقية كما تستنتج من قوانين علم الطبقات المختلفة مثل: التعاقب الطبقي وعلاقات القطع المستعرض والتتابع الحفري وغيرها. إلا أن مقياس الزمن الجيولوجي لا يشمل فقط على مقياس نسبي ولكنه يشمل أيضا مقياساً مطلقاً مقدراً بالسنين من الآن، ومتراكباً مع القياس النسبي. وعلى الرغم من أنه مقدر بالسنين (عادة بالملايين Ma) من الآن، إلا أنه ليس تقديراً دقيقا بالمعنى الحقيقي، نظرا لوجود نسبة بسيطة من الخطأ في الحسابات. فإن تقديرا مطلقا مثل ٤٦٠٠ مليون سنة من الآن والممثل للحد الفاصل بين حقبتي الحياة القديمة والوسطي يعطينا تقديرا لدرجة القدم، كما يحدد المدى الزمني لتقسيمات العمود الجيولوجي النسبية.

ويلاحظ أن مقياس الزمن النسبي قد بني تدريجيا حتى أخذ شكله الحالي بنهاية القرن التاسع عشر. أما مقياس العمر المطلق، فقد تطور من خلال علم الزمن الجيولوجي geochronology والذي أصبح حقيقة واقعة في العقود الأولى من القرن العشرين بعد اكتشاف ظاهرة نشاط الإشعاع الذري radioactivity وتطبيقاتها على المعادن. وقد استمر تطبيق كلا المقياسين حتى اليوم. ويعتبر المقياسان النسبي والمطلق من الإنجازات المهمة في تاريخ العلم.

أ – أسس التقدير الإشعاعي:

يبنى التقدير الإشعاعي على ظاهرة أن هناك كثيراً من الذرات غير الثابتة، وبالتالي التغير باستمرار إلي حالة أكثر ثباتا وأقل طاقة. ويترتب على عملية التغير هذه اضمحلال إشعاعي radioactive decay، يؤدي بدوره إلي انبعاثات إشعاعية radioactive emissions. وتختلف الذرات عن بعضها بعضا، والتي تدعى نويات nuclides في عدد البروتونات (جسيمات مشحونة بشحنة موجبة) والنيوترونات (جسيمات متعادلة الشحنة) الموجودة في نواة الذرة.

ويعرف كل عنصر كيميائي في الجدول الدوري بعدد البروتونات في النواة، وهو عدد ثابت ومميز لكل عنصر، والتي تمثل العدد الذري atomic number. فعلى سبيل المثال، عنصر الهيليوم (He) وهو العنصر الثاني في الجدول الدوري على ٩٢ بروتونا في نواته. أما رقم الكتلة mass number فهو عدد البروتونات مضافا إليه عدد النيوترونات الموجودة في نواة الذرة. أما المدارات حول النواة فتملأ بالإلكترونات (جسيمات مشحونة بشحنة سالبة)، والتي يساوي عددها عدد البروتونات الموجودة في نواة الذرة. وبالتالي فإن لكل نوية nuclide عددا ذريا مميزا.

وكل عنصر كيميائي، والذي هو عبارة عن نوية لها عدد ذري ثابت، يمكن أن يكون له أشكال مختلفة تدعى نظائر isotopes، والتي تتمايز بناءً على عدد النيوترنات الموجودة داخل نوياتها. وبالتالي فإن النظائر المختلفة للعنصر نفسه يكون لكل نظير منها رقم كتلة مختلف . فاليورانيوم- ٢٤٥ ونظيره اليورانيوم -٢٣٨ يحتويان على عدد البروتونات نفسه، بينما يختلفان في عدد النيوترنات (وبالتالي لهما رقما كتلة مختلفان). ويلعب هذان النظيران دورا مهماً في تقدير العمر المطلق لبعض أنواع الصخور النارية.

ومعظم نظائر العناصر الكيميائية الموجودة في الأرض هى عناصر مستقرة وغير معرضة للتحول. ولكن هناك عدداً قليلاً من النظائر مثل c١٤ تكون مشعة بسبب عدم استقرار النواة، حيث إن هناك حدوداً يمكن أن تتغير فيها أعداد الكتلة للنظائر لأي عنصر. وتتغير نواة النظير المشع ذاتيا إما إلي نواة نظير أكثر استقرارا للعنصر الكيميائي نفسه وإما إلي نظير لعنصر كيميائي مختلف. وتختلف سرعة التحول لكل نظير. وعلى الرغم من أن هذه العملية هى واحدة من التحولات – من نواة غير ثابتة إلي نواة أخرى أكثر ثباتا – إلا أنه أصبح من الشائع تسمية هذه العملية بالاضمحلال الإشعاعي radioactive decay كما سبق أن ذكرنا. ويسمى العنصر الذي تضمحل نواته إشعاعيا بالأصل (ولود) parent، ويسمى الناتج من الاضمحلال الإشعاعي بالوليد daughter. ويضمحل C١٤ إلي

٤N ويضمحل U٢٣٨ إلي pb٢٠٦، ويسمى كل من C١٤ وU٢٣٨ أصلا (ولودا) وN٤ وpb٢٠٦ وليدا.

ب – الاضمحلال الإشعاعي:

إن عديداً من النظائر المشعة والتي كانت موجودة يوما ما في الأرض قد اضمحل ولم يبق لها وجود الآن. ويرجع السبب في ذلك إلي أن معدلات الاضمحلال الذاتي لهذه العناصر كانت سريعة. ومع ذلك فمازال يوجد حتى الآن القليل من النظائر المشعة والتي تتحول ببطء. ولقد بينت الدراسة المعملية الدقيقة للنظائر المشعة أن معدلات الاضمحلال لا تتاثر بأية تغيرات في البيئة الطبيعية أو الكيميائية. ولذلك لا يتغير معدل الاضمحلال لنظير ما سواءً كان في الوشاح أو في الصهارة أو في الصخر الرسوبي، وهذه نقطة مهمة توضح أن معدلات الاضمحلال الإشعاعي لا تتأثر بأية عمليات جيولوجية.

ويترتب على الاضمحلال الإشعاعي:

(١) انطلاق جسيمات ألفا (انطلاق بروتونين ونيوترونين من نواة الذرة).
(٢)انطلاق جسيمات بيتا (انطلاق إلكترون بسرعة عالية من النواة).
(٣) كما قد تكتسب النواة إلكترونا من خارجها.

ويترتب على الاضمحلال الإشعاعي بانطلاق جسيمات ألفا أن تفقد نواة العنصر الولود بووتونين ونيوترونين، ويتكون نظير وليد جديد يقل عدد الكتلة فيه بمقدار ٤، كما يقل العدد الذري فيه بمقدار ٢ عن النظير الولود. بينما في الاضمحلال الإشعاعي، فإن انطلاق جسيمات بيتا، يجعل النواة تطلق إلكترونا ويتحول أحد النيوترونات فيها إلي بروتون، وبالتالي تبقى كتلة النواة ثابتة، بينما يزيد العدد

الذري بمقدار ١ ويتكون نظير جديد. وفي حالة اكتساب إلكترون، يلتقط أحد بروتونات نواة العنصر إلأكترونا من المدار الخارجي ويتحول إلي نيوترون، ممايترتب عليه نقص العدد الذري بمقدار ١، ويتكون نظير جديد، بينما تبقى الكتلة ثابتة.

معدل الاضمحلال الإشعاعي: تضمحل العناصر المشعة إلي نظائرها غير المشعة بانطلاق نواتج تحلل محددة. فمثلا يتحلل عنصر اليورانيوم – ٢٣٨ إلي الرصاص – ٢٠٦ من خلال ١٠ خطوات تحلل ألفا و٧خطوات تحلل بيتا. وبغض النظر عن أي تعقيدات، فإن القانون الأساسي في الاضمحلال الإشعاعي ثابت، وهو "نسبة الذرات الأصل (الولودة) التي تضمحل إشعاعيا أثناء كل وحدة زمنية هى دائما النسبة نفسها". ومن المهم أن نعرف أن معدل التحلل أو الاضمحلال الإشعاعي rate of radioactive decay من عنصر ولود لنظيره الوليد يكون بمعدل ثابت لا يتغير، يسمى ثابت التحلل. وكما هو معروف في علم المعادن، فإذا دخلت نوية مشعة في تركيب معدن عند تبلوره، فإن كمية النظير المشع (النواة الأصل أو الولودة) والتي تتحلل إلي النظير غير المشع (النواة الوليدة) مثل تحول اليورانيوم – ٢٣٨ إلي رصاص – ٢٠٦، هومعامل فقط في الفترة الزمنية اللازمة للتحول. إلا أنه لدقة المعلومات، فإنه من المحتم أن تكون كل من النواتين الولودة والوليدة محفوظة في بناء الشبكة البلورية للمعدن.

وتعكس نسبة النويات الولودة إلي النويات الوليدة في النظام البلوري المغلق طول الفترة الزمنية المنقضية منذ بدأت الساعة الزمنية في الدوران.

ويتميز كل عنصر مشع بفترة زمنية تسمى عمر النصف half – life، وهى الفترة الزمنية اللازمة لأن يتحول نصف عدد ذرات عنصر مشع ما إلي النظير غير المشع. ويحدث التحلل الإشعاعي بمعدل هندسي: أي أن عدداً ما من نويات عنصر مشع معين (N0) يتبقى نصف عددها مشعا (N|2) بعد مرور فترة عمر نصف واحدة، بينما نصف هذا العدد، أي ربع العدد الأصلي (N|4) سيبقى مشعا بعد مرور فترة عمر نصف أخرى، وبعد مرور فترة عمر نصف أخرى سيبقى ثمن الكمية الصلية (N|8)، وهكذا إلي مالا نهاية .

ويقدر عمر العينة الجيولوجية بالفترة الزمنية المنقضية منذ تبلور الشبكة البلورية للمعدن الحاوي للذرات المشعة. ويكون العمر عند لحظة البداية صفرا، وتكون نسبة ذرات النظير غير المشع عندئذ تساوي صفرا. وتقدر الفترة الزمنية منذ التبلور بقياس نسبة نوبات النظير المشع إلي نويات النظير غير المشع في المعدن. وبالطبع فإن عمر النصف للعنصر المشع يجب أن يكون معلوما ويضرب في نسبة نويات النظير المشع إلي نويات النظير غير المشع.

وعلى سبيل المثال، فإذا كانت نسبة اليورانيوم – ٢٣٨ إلي الرصاص – ٢٠٦ في عينة ما تساوي ١:١، فهذا يعني أن نصف المادة الصلية من اليورانيوم قد تحللت إلي رصاص، أي مضت فترة عمر نصف واحدة، وحيث إن عمر النصف لليورانيوم – ٢٣٨ هو ٤٥١٠ مليون سنة، فإن هذا سيكون عمر العينة.

ج – سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الرئيسية :

قدر عمر النصف للنويات المشعة المختلفة باستخدام أدوات تحليل دقيقة في المعمل. ووجد أن عمر النصف لبعض العناصر يكون أقل من ثانية، بينما يصل عمر بعضها الآخر إلي عشرات أو مئات أو حتى آلاف الملايين من السنين، فسلسلة تحلل اليورانيوم – ٢٣٨ يتراوح عمر النصف فيها بين ٠,٠٠٠١٦ ثانية و٤٥٠٠ مليون سنة. ويحتاج تقدير عمر معظم الأحداث الجيولوجية باستخدام المواد المشعة التي لها عمر نصف طويل.

ويعتبر عمر الصخور النارية والمتحولة هو عمر الانصهار حتى نقطة حرجة أساسية يطلق عليها درجة حرارة التثبيت blocking temperature، حيث يصبح معدن معين نظاماً كيميائياً مغلقا في سلسلة اضمحلال معينة. وتعطي الصخور النارية أفضل النتائج، لأن صخور هذه المجموعة هى نواتج تبلور مصهور سيليكاتي، ولهذا فهى صخور أولية. كما أن الصخور المتحولة يمكن أن تعطي أعمارا مطلقة أيضا، ولكن يكون العمر المقدر بهذه الطريقة هو عمر التحول، ولذلك فهى لا تعطي عمر الصخر الأصلي غير المتحول. وتشمل عمليات التحول إعادة بلورة المعادن الموجودة وأيضا تكوين معادن جديدة، ولذلك فإنها تعيد ضبط ساعة الزمن على البداية الجديدة.

أما الصخور الرسوبية فليست مناسبة للتقدير المطلق باستخدام العناصر المشعة، لأن الحبيبات الفتاتية المكونة لها يكون مصدرها أساسا صخور نارية أو متحولة أقدم عمرا. وتقدير عمر زيركون أو ميكروكلين فتاتي سيكون هو عمر الصخر الأضلي الناري أو المتحول الذي أتي منه الزيكون أو الميكروكلين وليس عمر الصخر الرسوبي نفسه. أما معدن الجلوكونيت، والذي يتكون من سيليكات بوتاسيوم حديد لونها أخضر، فإنه يتكون كمعدن أولي في بعض بيئات الترسيب البحرية، ويمكن أن يعطي تقديرات مقبولة للعمر المطلق لبعض الصخور الرسوبية من خلال احتوائه على بوتاسيوم – أرجون.

مصادر الخطأ: تأتي أفضل تقديرات العمر المطلق من ربط نتائج سلسلتي اضمحلال بعضهما ببعض. فإذا بقيت بلورة تحتوي على عنصر اليورانيوم في نظام بلوري مغلق فإن نتائج تقدير عمرها من نسب اليورانيوم – ٢٣٨: الرصاص – ٢٠٦ واليورانيوم – ٢٣٥: الرصاص – ٢٠٧ ستكون متطابقة. وتأتي أكبر مصادر عدم دقة النتائج في علم التاريخ الجيولوجي من أن الصخور والمعادن لا تبقى في أنظمة مغلقة، حيث تفقد النويات الوليدة غالبا مثل الأرجون – ٤٠ (الآن الأرجون غاز ومن السهل تطايره). كما قد تختلط النويات الوليدة الناتجة عن الاضمحلال الإشعاعي بنويات العنصر نفسه المتكونة أصلا عند تبلور المعدن في البداية مثل نويات الرصاص الناتج عن الاضمحلال (رصاص – ٢٠٦ ورصاص – ٢٠٧ ورصاص – ٢٠٨) والرصاص غير المشع المتكون عند التبلور والمسمى رصاص – ٢٠٤. ولذلك فلابد أن تحدد كميته بدقة في العينة، قبل عمل النسبة التي يبنى على أساسها تقدير العمر.

كما قد ينشأ الخطأ أيضا من معامل التحليل نفسها. فتحديد نسبة النويات الولودة إلي النويات الوليدة يتم باستخدام جهاز يطلق عليه مطياف الكتلة mass spectograph، وهو جهاز تحليل على درجة عالية من الحساسية قادر على فصل وقياس نسب الجسيمات الدقيقة حسب الفروق في كتلتها. وتعتمد درجة الخطأ على كمية النظير المشع والنظير غير المشع وقرينه المتكون عند التبلور الأصلي، وأيضا عمر نصف العنصر الولود والعمر الحقيقي للعينة المدروسة.

ولهذا فإن العمر المطلق يعبر عنه برقم مع إضافة زيادة أو نقص إلي هذا الرقم، فمثلا يكون عمر حدث جيولوجي ٢٥٠+- ٢٠ مليون سنة. وبالإضافة إلي الأخطاء الروتينية وأخطاء التحليل، فإن مدى العمر الناتج يعبر عن درجة دقة القياس، مثل عينة يتراوح عمرها بين ٤٦٠ و٤٩٠ مليون سنة، وبالتالي فإنك قد تحلل عينة من الصخر نفسه، ويكون عمرها نحو ٤٨٠ مليون سنة مثلا وهو تقدير يقع في مدى العمر السابق. وبالتالي فإن الدقة هى مقياس درجة بعد العمر المقدر عن العمر الحقيقي.

د – تحديد العمر باستخدام الكربون المشع:

الكربون عنصر مهم في الطبيعة، وأيضا في تقدير عمر المواد العضوية الحديثة جدا. وتحتوي ذرة الكربون العادية على ستة بروتونات وستة نيوترونات في نواتها، ولهذا فإن عددها الذري ٦ ووزنها الذري ١٢. وللكربون نظيران هما كربون C١٣ وكربون C١٤ ويتفاعلان كيميائيا مثل الكربون C١٢

تماما، وكربون ١٢ و١٣ مستقران بينما يكون كربون ١٤ مشعا. ويختلط مع C١٢ وC١٣ وينتشر بسرعة في الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف الحيوي. وترجع أهمية ذلك إلي أن النباتات والحيونات لا تستطيع التمييز بين مختلف أنواع الكربون، وبالتالي تستخدمها جميعا دون تمييز في تصنيع مختلف المواد العضوية كالسيليلوز أو فوسفات الكالسيوم في العظام والأسنان وكربونات الكالسيوم في الأصداف. ويكون كربون C14 غير ثابت ويضمحل بفقد جسيم بيتا من نوياته، ويتكون نتيجة لذلك نواة وليدة هى النيتروجين ١٤ .

ولا يحسب عمر المواد الحاوية للكربون من حساب نسبة الولودة (الكربون ١٤): نسبة الوليد (النيتروجين ١٤) كما هو الحال في تقدير العمر من نسبة اليورانيوم – رصاص. ويعتمد الأساس الذي يقوم عليه تقدير العمر المطلق باستخدام الكربون المشع Radiocarbon dating على تحديد نسبة كربون ١٤ إلي كربون ١٢ لتقدير عمر المواد التي كانت حية يوما ما، حيث تمتص كل الكائنات الحية كربون ١٤ المشع مع كربون ١٢ وكربون ١٣ بنسبة ثابتة تقريبا. ولهذا فإن معرفة عمر النصف للكربون ١٤ والتي تساوي ٥٧٣٠ سنة، ومعرفة ثابت التحلل يجعل عملية حساب زمن نبات أو حيوان ما عملية سهلة، من خلال قياس كمية الكربون ١٤ في البقايا المتحفرة. ويقتصر استخدام طريقة الكربون المشع على حد أقصى للعمر لا يزيد عن ٧٠٠٠٠ سنة، نظرا لقصر فترة عمر النصف له. ويعتبر الكربون المشع طريقة أساسية لعلم الآثار القديمة وجيولوجية البليستوسين. ومن التطبيقات المبكرة لهذه الطريقة بعد إجازة الطريقة عام ١٩٤٧م تقدير العمر الدقيق لزحف الجليد القاري فوق أمريكا الشمالية. وقد أظهرت النتائج حدوث التغطية الجليدية قبل ١١٤٠٠ سنة مضت، وهو تقدير يقل بمقدار النصف عن التقدير، الذي سبق التوصل إليه من استخدام الشواهد الطباقية.

وهناك نظيران مشعان آخران قصيرا العمر استخدما بنجاح في تقدير عمر الأحداث الجيولوجية الحديثة وهما الثوريوم – ٢٣٠ والبروتكتينيوم – ٢٣١. فالثوريوم – ٢٣٠ ينتج في سلسلة تحلل اليورانيوم – ٢٣٨ وعمر النصف ٦٥٠٠٠ سنة. أما البروتكتينيوم – ٢٣١ فينتج في سلسلة تحلل اليورانيوم - ٢٣٥ وله عمر نصف ٣٤٠٠٠ سنة. ويتجمع كلاهما في رواسب قاع البحر، وبقياس تركيزهما النسبي أو نسبتهما المقارنة في الطبقات المختلفة للعينات الأسطوانية أثناء حفر بئر ومقارنتهما بمحتواهما في طبقة سطحية يمكن تحديد عمر الطبقات.

هـ - تحديد العمر باستخدام مسارات الانشطار:

يمكن استخدام مسارات الانشطار النووي fission track dating كطريقة حديثة لتقدير العمر المطلق ثبت نجاحها. وهى عبارة عن ندوب تشبه الأنفاق الدقيقة للغاية التي لا ترى إلا تحت تكبيرات عالية في بعض بلورات المعادن. وتنتج هذه المسارات عندما تنطلق بعض الجسيمات عالية الطاقة من نويات ذرات اليورانيوم – ٢٣٨ أثناء الانشطار اللحظي إلي نواتين أو أكثر أخف وزنا، بالإضافة إلي بعض الجسيمات النووية. وتنطلق الجسيمات داخل تركيب الشبكة البلورية للمعدن تاركة بصمة للمسار الذي سلكته، والذي يكون سعته ذرات قليلة. ويكون المعدل الطبيعي لإنتاج مسارات الانشطار في ذرات اليورانيوم شديد البطء، ويحدث بمعدل ثابت. وبحساب عدد مسارات الانشطار يمكن تحديد عدد الذرات

التي اضمحلت فعلا، وبتعريض البلورة لمجال نيوتروني يحدث اضمحلال لبقية الذرات، ثم يعاد عدمسارات الانشطار مرة ثانية، وبإيجاد النسبة بين الذرات الوليدة الأولى والذرات الولودة يمكن حساب العمر المطلق.

ويبدو أن معادن مثل الأباتيت والزيركون والسفين تعطي نتائج جيدة، كما أن هذه الطريقة تستخدم لتحديد أعمار عينات يقل عمرها عن عدة قرون من السنين، كما تستخدم لتحديد أعمار صخور يصل عمرها إلي عدة بلايين من السنين، إلا أنها أكثر استخداما لتقدير عمر عينات تتراوح بين نحو ٤٠٠٠٠ سنة إلي مليون سنة مضت، وهى فترة زمنية لا تستخدم فيها التقنيات الأخرى بصورة عملية. ولكن هذه الطريقة كغيرها من طرق قياس العمر المطلق لها عوامل محددة. فدرجات الحرارة العالية يمكن أن تؤدي إلي اختفاء المسارات، كما يمكن أن يؤدي قذف الأشعة الكونية إلي زيادة سرعة الانشطار، مما يؤدي إلي تقديرات خاطئة.

و – تحديد العمر المطلق باستخدام الأحماض الأمينية:

إن تحديد العمر المطلق باستخدام الأحماض الأمينية amino acids dating يعتبر طريقة أخرى حديثة، تعتمد على تحليل نسبة الحمض الأميني –D إلي الحمض الأميني – Lفي عظام حفريات ومواد أصداف العصر الرابع Quaternary، حيث ثبت جدواها. وقد أثبتت الأبحاث التي أجريت في سبعينيات القرن الماضي أن عملية تدعى تفاعل ريسمة الحمض الأميني amino acids racemization reaction يمكن استخدامها بمحاذير معينة، عند تحديد عمر مادة هيكلية، حيث إن الأحماض الأمينية المعروفة بـL- amino acids توجد فقط في بروتينات الكائنات الحية. وعندما

يموت الكائن وتمضي فترة زمنية تتحول هذه L- amino acids إلي الأحماض الأمينية غير البروتينية والمعروفة بـD- amino acids خلال عملية تعرف بالريسمة racemization. وتزيد بثبات نسبة D- amino acids إلي L- amino acids في المادة الهيكلية مع الزمن حتى تصل هذه النسبة إلي ١,٠. أما إذا زادت عن ذلك فتصبح النسبة زائفة، لأنه عكس سلاسل الاضمحلال الإشعاعي فإن التفاعل يكون عكسياً. وبتحديد المدى الذي وصلت إليه عملية الريسمة في عينة المادة الهيكلية، يمكن تحديد عمرها، آخذين في الاعتبار أنه يمكن معايرة العينة بعينة أخرى محددة العمر سلفا.

وبمقارنة طريقة الريسمةهذه بطريقة الكربون المشع، يتضح أننا نحتاج في هذه الطريقة إلي مقدار أقل من المادة العضوية، كما تطبق في مجالات أوسع من طريقة الكربون المشع. فهى تطبق في تحديد أعمار الحفريات البشرية المبكرة والشرفات البحرية، التي تكونت خلال مئات الآلاف من السنين الأخيرة.

– العمود الجيولوجي ومقياس الزمن الجيولوجي:

إن أحد الإنجازات الكبيرة التي توصل إليها جيولوجيو القرن التاسع عشر من خلال عملية المضاهاة أنه يمكن الربط بين التتابعات الطبقية التابعة لزمن واحد. ولقد تمكن هؤلاء الجيولوجيون – ومن خلال

عملية المضاهاة على مستوى العالم – من جمع عمود جيولوجي geologic column، هو عبارة عن قطاع رأسي مركب، يحتوي تتابع الطبقات المعروفة في ترتيب زمني على أساس محتواها الحفري، أو أي أدلة أخرى على العمر النسبي. ومازال يضاف إلي هذا المقياس العالمي، أو يتم إدخال تحسينات عليه حتى الآن، نتيجة وصف أو رسم خرائط لوحدات صخرية أكثر.

ويقسم الجيولوجيون كل التاريخ الجيولوجي إلي وحدات مختلفة المدى الزمني تقابل الوحدات الصخرية للعمود الجيولوجي. وتشمل في مجموعها مقياس الزمن الجيولوجي geologic time scale لتاريخ الأرض . وقد أدخلت وحدات مقياس الزمن الرئيسية خلال القرن التاسع عشر على يد علماء من غرب أوروبا وبريطانيا، ونظراً لأن تحديد العمر المطلق باستخدام المواد المشعة لم يكن معروفاً في ذلك الوقت، فإن مقياس الزمن قد أقيم باستخدام طرق قياس العمر النسبي. وقد أضيفت التقديرات المطلقة لوحدات مقياس الزمن بعد إجازتها في القرن العشرين.

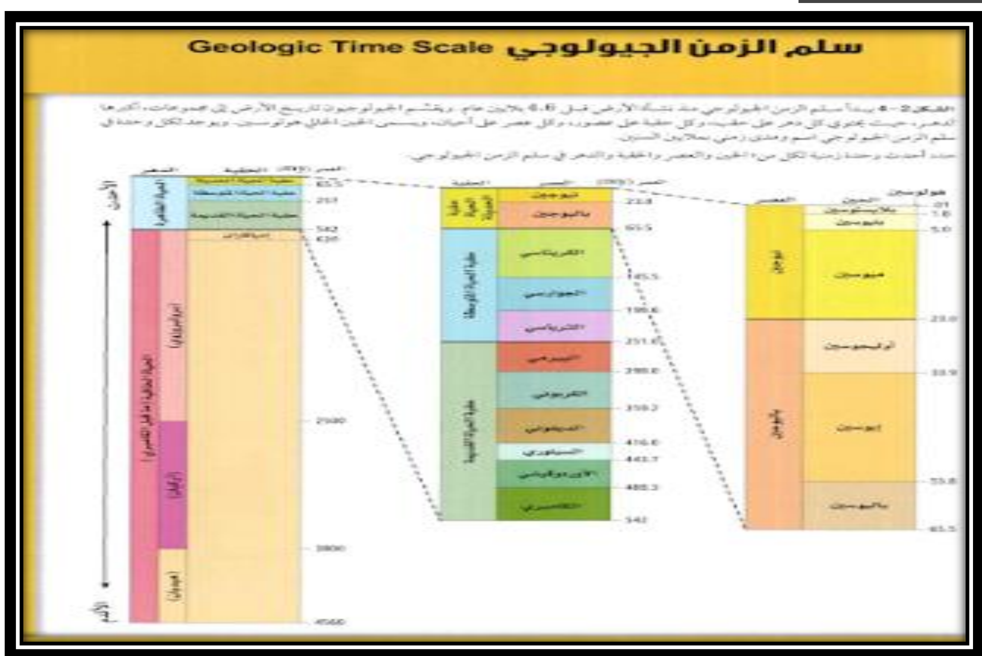
أ – بناء مقياس الزمن الجيولوجي:

يقسم مقياس الزمن الجيولوجي ٤,٦ بليون سنة والتي تمثل تاريخ الأرض إلي وحدات مختلفة وهى الدهور والأحقاب والعصور والأحايين، ويقدم إطارا زمنياً معقولاً ترتب داخله الأحداث الجيولوجية المختلفة منذ نشأة الأرض وإلي الآن. وكما يتضح من شكل مقياس الزمن الجيولوجي، فإن الدهور eons هى أكبر وحدات الزمن. ويشمل الدهر الذي بدأ قبل ٥٦٠ مليون سنة دهر الحياة الظاهرة Phanerozoic وهو مصطلح مشتق من الكلمات اللاتينية التي تعني حياة ظاهرة، وهو وصف مناسب، لأن صخور ورواسب ذلك الدهر تحوي الكثير من الحفريات التي تسجل الاتجاهات التطورية الرئيسية في الحياة.

ترتيب الزمن الجيولوجي :

لفهم صخور الأرض وتفسير نشأتها قسم الجيولوجيون اوجدوا "سلم الزمن الجيولوجي" وهو تاريخ الأرض نقسم الى وحدات بناء على الأحافير التي تحتويها ، ويؤرخ الجيولوجيون تاريخ الأرض منذ ٤،٦ بليون عام وحتى أيامنا الحالية.

سلم الزمن الجيولوجي :





أ-الدهور :

هو اكبر وحدات السلم الجيولوجي ، ومن أمثلته دهر ما قبل الكامبري وفيه تكونت الأرض وأصبحت مؤهلة لاستقبال حياة حديثة ، ومن أمثلته أيضا دهر الاركيان وفيه تشير الأحافير الى أشكال حياة بسيطة .

ب-الحقب :

تتكون الدهور من حقب والحقبة هي ثاني اكبر وحدة زمنية وتتراوح بين عشرات الى مئات ملايين السنين ، ومن أمثلتها حقبة الحياة المتوسطة وحقبة الحياة الحديثة .

ج-العصور :

تتكون الحقب من عصور وتصل مدة العصر الى ملايين السنين مثل عصر الادياكاران .

د-الأحيان :

هو اصغر الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي ويتراوح بين مئات السنين الى ملايين السنين مثل حين الهولوسين .

تعاقب أشكال الحياة :

بدأت المخلوقات الحية العديدة الخلايا في التنوع في دهر الحياة الظاهرة وفي أول حقبة من دهر الحياة الظاهرة -حقبة الحياة القديمة-امتلأت المحيطات بأنواع مختلفة من الحياة ، أما النباتات فظهرت على

اليابسة وتبعها ظهور الحيوانات ، وقد شهدت نهاية حقبة الحياة القديمة اكبر انقراض جماعي في تاريخ الأرض إذ اختفت ٩٠% من المخلوقات الحية البحرية .

عصر الديناصورات :

اشتهرت حقبة الحياة المتوسطة بظهور الديناصورات وفي نهاية هذه الحقبة حدث انقراض عظيم لمجموعة من المخلوقات الحية منها الديناصورات غير الطائرة وللزواحف البحرية الضخمة وفي حقبة الحياة الحديثة ظهرت الثدييات وتنوعت وزادت أعدادها . ويقسم دهر الحياة الظاهرة إلي ثلاثة أحقاب eras هى: حقب الحياة القديمة Era Paleozoic (يعني مقطع paleo قديم ويعني مقطع zoe حياة)، وحقب الحياة المتوسط Era mesozoic (يعني مقطع meso وسطي ويعني مقطع zoe حياة) وحقب الحياة الحديثة Cenozoic Era (يعني مقطع ceno حديث ويعني مقطع zoe حياة). وتعكس هذه الأسماء اختلافات واضحة في شكل الحياة على مستوى العالم عند الحدود بين الأحقاب. وينقسم كل حقب من الأحقاب الثلاثة إلي وحدات زمنية تسمى عصور periods. وينقسم حقب الحياة القديمة Paleozoic Era إلي ستة عصور، كما ينقسم حقب الحياة المتوسطى إلي ثلاثة عصور، وحقب الحياة الحديثة إلي عصرين. وتختلف الحياة من عصر إلي عصر، إلا أن هذه الختلافات التي توجد بين حقب وحقب. كما يقسم كل عصر من العصور إلي أقسام أصغر يطلق عليها الأحيان epochs، بينما يقسم الحين إلي أعمار ages .

بملايين السنين	الأحقاب ERES	الأدوار PERIODES	الأحداث الجيولوجية EVENEMENTS GEOLOGIQUES	المستحاثات المميزة للحقب FOSSILES CARACTERISTIQUES
	الحقب الرابع QUATERNAIRE			أدوات بشرية قديمة
- 1,7	الحقب الثالث TERTIAIRE	البليوسين Pliocène	السلسلة الألبية ALPES	
		الميوسين Miocène		بيكتين
		الأوليكوسين Oligocène	السلسلة البيرينية PYRÉNÉES	
		الإيوسين Eocène		
		الباليوسين Paléocène		
- 65	الحقب الثاني SECONDAIRE	الكريتاسي Crétacé		أمونيت
		الجوراسي Jurassique		مجنح أثري
		الترياس Trias		البرونتوزور
- 245	الحقب الأول PRIMAIRE	البرمي Permien		الديلوكوليس (برمائي)
		التفحّمي Carbonifère	السلسلة الهرسينية Massif hercynien	ازدهار النباتات
		الديفوني Dévonien		سمك عظمي
		السيلوري Silurien	السلسلة الكاليدونية Massif calédonien	قنفذ البحر
		الأردوفيسي Ordovicien		
		الكمبري Cambrien		
- 550	ما قبل الكمبري PRECAMBRIEN		السلسلة الكادومية Massif cadomien	كائنات وحيدة الخلية
- 2500				
- 4500				نشأة الأرض

لقد مُيزت في بداية الدراسات الجيولوجية سلسلة تكاوين صخرية حسب متعاقبة حسب تكشفات في أوربا، ثم وضع السلم الجيولوجي غالبا حسب التتابعات المستحاثية في التكاوين ، أي حسب أعمارها النسبية.

فترة ما قبل الكمبرى: Precambrian time

لا يمكن عمل تقسيم تفصيلي لمقياس الزمن الجيولوجي إلا في ٥٧٠ مليون سنة الأخيرة من عمر الأرض، والتي تحتوي على بقايا الحياة الهيكلية المعقدة، وتمتد من بداية العصر الكمبري حتى الآن. وتقسم الأربعة بلايين سنة من عمر الأرض، والتي تسبق العصر الكمبري إلي ثلاثة دهور وهى الهاديان Hadean (تعني كلمة Hadean عالم الساطير الخفي للأرواح الراحلة)، والأركي Archean (وتعني كلمة archaios القديم أو السحيق)، والبروتيروزوي Proterozoic (وتعني كلمة proteros قبل و zoeتعني حياة). وكثيرا ما يطلق على هذه الفترة الزمنية الطويلة من عمر الأرض وبصورة غير رسمية مصطلح ما قبل الكمبري Precambrian. وعلى الرغم من أنه لا يقسم إلي أقسام كثيرة كتلك التي تكون في دهر الحياة الظاهرة.

ويرجع السبب في عدم تقسيم الفترة الزمنية الطويلة التي يشملها ما قبل الكمبري إلي أحقاب وعصور وأحيان كثيرة إلي أننا لا نعرف كثيراً عن تاريخ ما قبل الكمبري.وتماثل كمية المعلومات التي توصل إليها الجيولوجيون عن ماضي الأرض ماعرفوه عن تاريخ البشر. وكلما تعمقنا أكثر في الماضي قلت المعلومات التي نستطيع الإلمام بها. وبالطبع سجلت أحداث القرن التاسع عشر بشكل أفضل من أحداث القرن الأول الميلادي، وهكذا. وهذا ينسحب بالطبع على تاريخ الأرض، إذ كلما قدم الحدث كان أكثر تشوشا وأقل وضوحا.

وهناك أسباب أخرى لتفسير نقص معلوماتنا عن تلك الفترة الزمنية من تاريخ الأرض والتي يشملها "ما قبل الكبرى"، منها:

١ – لم يبدأ الانتشار الواسع للحياة في السجل الجيولوجي إلا من بداية العصر الكمبري. أما ما قبل الكمبري فقد انتشرت أشكال بسيطة من الأحياء مثل: البكتريا والطحالب والفطريات والديدانز وهى أشكال من الأحياء لا تحتوي على هيكل صلب، والذي يمثل أحد المتطلبات الأساسية لحفظ الكائنات الحية كحفريات. ولهذا السبب فإن السجل الحفري في ما قبل الكمبري يعد هزيلا.

٢ – ولأن صخور ما قبل الكمبري شديدة القدم فقد تعرض معظمها لتغيرات كثيرة وشديدة. حيث يتكون معظم السجل الصخري في ما قبل الكمبري من صخور متحولة مشوهة بشدة. مما يجعل البيئة القديمة شديد الصعوبة نظرا لتشوه كل الشواهد التي كانت تميز الصخور الرسوبية.

وقد أمدتنا المواد المشعة بحل جزئي لمشكلة تحديد أعمار ومضاهاة صخور ما قبل الكمبري، إلا أن عدم حل تعقيدات ما فبل الكمبري يظل أمرا مثبطا للهمم.

ينقسم الزمن الجيولوجي إلي أربعة دهور (Eons) والدهر ينقسم إلي حقب (Era) والحقبة تضم عصورا Periods أو Epochs والحين جزء طويل يضم أحقابا من الدهر ويمكن تقسيم الزمن الجيولوجي إلي عصور مميزة بأحداثها وأحيائها كعصور النقط الهلامية والرخويات العارية الأصداف والتروبيليتات (رأسقدميات) والأسماك والبرمائيات و الزواحف والثدييات ثم عصر ظهور الإنسان

والدهر مداه مئات الملايين من السنين ويوجد ثلاثة دهور رئيسية وهي دهر اللاحياة وهو أقدم الدهور ومداه ١٧٠٠ مليون سنة ولم يوجد به أي آثار حياة ودهر الحياة الخفية ومداه ٢٦٠٠مليون سنة وفيه شواهد أشكال الحياة الأولية ولم تخلف أي آثار لها والدهر الأخير مداه ٥٧٩ مليون سنة وفيه حفائر إحيائية في الصخور والرسوبيات والحقب أطول المراحل الزمنية بكل دهر وتقاس كل حقبة بعشرات الملايين من السنين أما العصور فنجد كل عصر مرحلة من مراحل كل حقبة ويقاس العصر ببضع عشرات ملايين السنين ويميز كل عصر رتب وفصائل حيوانية ونباتية تنقرض أغلبها أو تقل أهميتها مع نهاية العصر والحقب الجيولوجية أربع حقب وهي من القدم للحداثة :

زمن اللاحياة: Azoic Eon

بدأ هذا الزمن منذ خمسة آلاف مليون سنة إلى ثلاثة آلاف مليون سنة أي أن مداه ٢٠٠٠ مليون سنة و من خلال اسمه فلم يجد العلماء أي أثر للحياة و نستطيع تلخيص أهم أحداثه في أنه:

١) تكونت الدروع القارية Shields.

٢) وتكونت الجبال و الغلاف الغازي و المائي و أعدت الأرض لاستقبال الحياة

١ـحقبة ما قبل الباليوزي (ماقبل الكمبري Pre-cambrian):

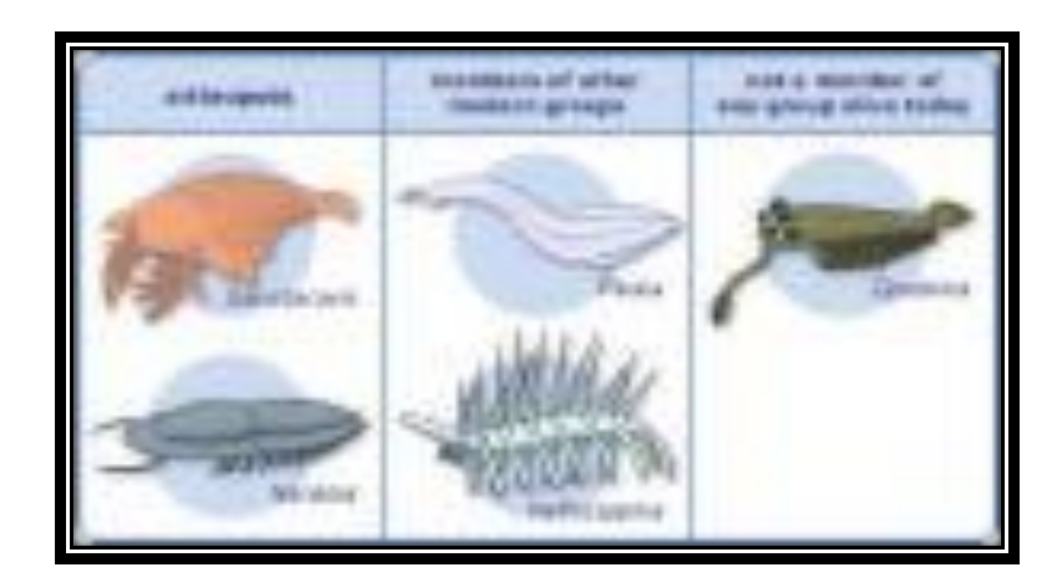
منذ ٣٢٠٠-٦٠٠ مليون سنة ويعتبر عصر الحياة المبكرة الأولي البدائية حيث ظهر ت به الطحالب والفطريات البدائية والرخويات بالبحر وكانت الأرض تتعرض أثناء هذه الحقبة لبراكين مدوية حيث فاضت فوقها أنهار الحمم ثم بدأت الحياة كنقط هلامية ميكروسكوبية في البحار العذبة الدافئة وكانت تنذثر بالبلايين مع موجات البحر وإندمجت هذه النقاط الهلامية معا مكونة كائنات حية دقيقة مختلفة الأشكال كالرخويات ولقد هبط بعضها للقيعان مكونا نباتات وبعض الرخويات كونت أصدافا ومحارات حولها ومن هنا كانت البداية العظمي لنشوء الحياة فوق الأرض .

٢ـحقبة الباليوزي Paleozoic era (حقبة الحياة القديمة) :

ظهرت منذ ٥٤٣ ــ ٢٨٠ مليون سنة وتتميز بصلابة صخورها التي أشد من الرسوبيات بعدها وحفرياته واضحة المعالم وتضم ٦عصور هي:

أـ العصر الكمبري: Cambrian period:

منذ ٦٠٠-٥٠٠ مليون سنة ويطلق عليه عصر التريلوبيتات التي كانت تشبه سوسة الخشب وكان ظهرها مصفحا ولها بطن رخوة وناعمة وعند الخطر كانت تتكوم كالكرة وقد عاشت حتي حقبة الميزوني(الميزوسي) وفي الكمبري ظهرت أيضا اللافقاريات البحرية كالمفصليات البدائية والرخويات المبكرة والأسفنج وديدان البحر كما ظهرت به أسماك فقارية وفي أواخره إنقرض ٥٠%من الأحياء بسبب الجليد ومن أحافيره التريلوبيتات.



ب- العصر الأودوفيني: Ordovician Period :

منذ ٥٠٠-٤٢٥ مليون سنة ظهرت فيه النباتات الأولية و الأشجار الفضية آكلة اللحوم فوق اليابسة ، كما ظهرت الشعاب المرجانية ونجوم وجراد البحر والأسماك البدائية والحشائش المائية والفطريات الأولية ومنذ ٤٣٠ مليون سنة ظهرت قنافذ ونجوم البحر بين حدائق الزنابق المائية الملونة وبينها ظهرت كائنات بحرية لها أصداف وأذناب تحمي بها أنفسها وكان بعضها يطلق تيارا كهربائيا صاعقا.



ج- العصر السيلوري: Silurian period:

منذ ٤٢٥-٤٠٥مليون سنة وكان فيه بداية الحيوانات فوق اليابسة كالعقارب والعناكب وحشرة القرادة المائية و أم أربعة وأربعين رجل وبعض النباتات الفطرية الحمراء التي كانت تلقي بها الأمواج للشاطيء لتعيش فوق الصخور وفيه أيضا ظهرت منذ ٤٠٠ مليون سنة الأسماك ذات الفكوك بالبحر والنباتات الوعائية فوق اليابسة وأهم أحافيره العقارب المائية.



د-العصر الديفوني: Devonian period:

منذ ٤٠٥-٣٤٥ مليون سنة وفيه ظهرت منذ ٤٠٠ مليون سنة بعض الأسماك البرمائية وكان لها رئات وخياشيم و زعانف قوية كما ظهرت الرأسقدميات كالحبار والأشجار الكبيرة ومن أحافيره الأسماك والمرجانيات الرباعية والسرخسيات.



ه- العصر الكربوني: Carboniferous period:

منذ ٣٤٥-٢٨٠ مليون سنة كان فيه بداية ظهور الزواحف وزيادة عدد الأسماك حيث ظهر ٢٠٠ نوع من القروش ثم ظهرت الحشرات المجنحة العملاقة وأشجار السرخس الكبيرة وفي طبقته الصخرية ظهر الفحم الحجري و بقايا النباتات الزهرية بالغابات الشاسعة التي كانت أشجارها غارقة بالمياه التي كانت تغطي أراضيها فظهرت أشجار السرخس الطويلة وبعض الطحالب كانت كأشجار تعلو وكانت حشرة اليعسوب عملاقة وكان لها أربعة أجنحة طول كل منها مترا وكانت الضفادع في حجم العجل وبعضها له ٣عيون وكانت العين الثالثة فوق قمة الرأس وتظل مفتوحة للحراسة.





و- العصر البرمي: Permian period:

منذ ٢٨٠- ٢٣٠مليون سنة وفيه زادت أعداد الفقاريات والزواحف وظهرت فيه البرمائيات وانقرضت فيه معظم الأحياء التي كانت تعيش من قبله وفيه ترسبت الأملاح بسبب إرتفاع حرارة الجو..

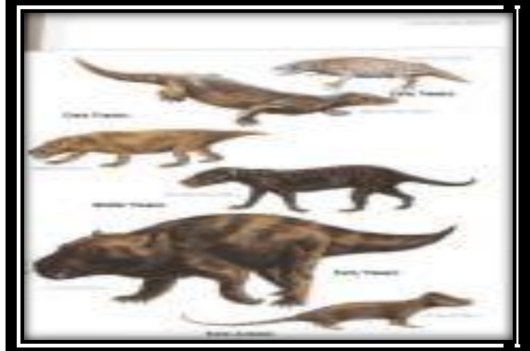


٣- حقبة الميزوزينيي Mesozoic era (الميزوسى)(حقبة الحياة الوسطى):

وفيها عصر الزواحف الكبري(منذ ٢٤٨-٦٥مليون سنة) وظهر فيه عصر الإنسان (منذ ٦٥مليون سنة وحتي الآن) وهذه الحقبة تضم ٣عصور وهي:

أ- العصر الترياسي Triassic Period:

منذ ٢٣٠ – ١٨٠ مليون سنة وفيه ظهرالديناصور الأول والثدييات والقواقع وبعض الزواحف كالسلحفاة والقواقع والذباب والنباتات الزهرية وقد إنتهي هذا العصر بإنقراض صغيرقضي علي ٣٥% من الحيوانات منذ ٢١٣ مليون سنة بما فيها بعض البرمائيات والزواحف البحرية مما جعل الديناصورات تسود في عدة جهات فوق الأرض.





ب- العصر الجوراسي: Jurassic period (عصر الديناصورات العملاقة)
منذ ١٨١-١٣٥ مليون سنة وفيه ظهرت حيوانات الدم الحار وبعض الثدييات والنباتات الزهرية مع بداية ظهور الطيور والزواحف العملاقة بالبر والبحر ومنذ ١٧٠ – ٧٠مليون سنة كانت توجد طيور لها أسنان وكانت تنقنق وتصدر فحيحا كما ظهرت في هذه الفترة الدبلودوكس أكبر الزواحف التي ظهرت وكانت تعيش في المستنقعات وكان له رقبة ثعبانية طويلة ورأس صغيرتعلو بها فوق الأشجار العملاقة وظهرت الزواحف الطائرة ذات الشعر والأجنحة وكانت في حجم الصقر وظهر طائر الإركيوبتركس وهو أقدم طائر وكان في حجم الحمامة وكانت أشجار السرخس ضخمة ولها أوراق متدلية فوق الماء وأشجار الصنوبركان لها أوراق عريضة وجلدية (حاليا أوراقها إبرية) ومنذ ١٣٩ مليون سنة ظهرت الفراشات وحشرات النمل والنحل البدائية وقد حدث به إنقراض صغير منذ ١٩٠ – ١٦٠مليون سنة.

ج- العصر الطباشيري(الكريتاسي): Cretaceous period:
منذ ١٣٥ – ٢٣مليون سنة وفيه تم إنقراض الديناصورات بعد أن عاشت فوق الأرض ١٠٠ مليون سنة وزادت فيه أنواع وأعداد الثدييات الصغيرة البدائية كالكنغر والنباتات الزهرية التي إنتشرت وظهرت أشجار البلوط والدردار والأشنات كما ظهرت الديناصورات ذات الريش والتماسيح ومنذ ١٢٠ مليون سنة عاشت سمكة البكنودونت الرعاشة وطيور الهيسبرنيس بدون أجنحة و النورس ذو الأسنان وكان له أزيز وفحيح وكانت الزواحف البحرية لها أعناق كالثعابين ومنذ ١٠٠ مليون سنة ظهرن سلحفاة الأركلون البحرية وكان لها زعانف تجدف بها بسرعة لتبتعد عن القروش وقناديل البحر ومنذ ٨٠ مليون سنة كان يوجد بط السورولونس العملاق الذي كان يعيش بالماء وكان إرتفاعه ٦متر وله عرف فوق رأسه وفي هذه الفترة عاش ديناصور اليرانصور المتعطش للدماء وكان له ذراعان قصيرتان وقويتان ليسير بهمافوق اليابسة وكانت أسنانه لامعة وذيله لحمي طويل وغليظ ومخالبه قوية وكان يصدر فحيحا وكان يوجد حيوان الإنكلوصور الضخم وهو من الزواحف العملاقة وكان مقوس الظهر وجسمه مسلح بحراشيف عظمية وشهد هذا العصر نشاط الإزاحات لقشرة الأرض وأنشطة بركانية وفيه وقع إنقراض أودي بحياة الديناصورات منذ ٦٥مليون سنة وقضي علي ٥٠% من أنواع اللا فقاريات البحرية ويقال أن سببه مذنب هوي وارتطم بالأرض والبراكين المحتدمة التي تفجرت فوقها ومنذ ٧٠مليون ستة ظهرت حيوانات صغيرة لها أنوف طويلة وكانت تمضغ الطعام بأسنانها الحادة وتعتبر الأجداد الأوائل للفيلة والخرتيت وأفراس البحر والحيتان المعاصرة .



٤- حقبة السينوزوي: Cenozoic (حقبة الحياة الحديثة):

وتضم فترتين هما الزمن الثلاثي ويضم خمسة عصور والزمن الرباعي ويضم عصرين:

أ-الزمن الثلاثي:

منذ ٦٥-٨، ١مليون سنة وفيه إنتشرت الزواحف ويضم:

١- العصر البليوسيني: Pliocene epoch:

منذ ٦٥-٥٤مليون سنة وفيه ظهرت الثدييات الكبيرة الكيسية المشيمة كحيوان البرنتوثيريا الذي كان له صوت مرعب وأسنانه في فمه الذي كان يطلق ضوءا مخيفا وكان يكسو جسمه شعر غزير كما ظهرت الرئيسيات الأولية ومن بينها الفئران الصغيرة وقنافذ بلا أشواك فوق جسمها و خيول صغيرة في حجم الثعلب لها حوافر مشقوقة لثلاثة أصابع.





٢-العصر الإيوسيني: Eocene epoch:

منذ٥٤-٣٨ مليون سنة وفيه ظهرت القوارض والحيتان الأولية و كانت تعيش به أسلاف حيوانات اليوم.



٣- العصر الإليجوسيني: Oligocene epoch:

منذ ٣٨ – ٢٤ مليون سنة معظم صخوره قارية ولقد وجد به أجداد الأفيال المصرية المنقرضة بسبب حدوث إنقراض صغير منذ ٣٦ مليون سنة وظهرت به أيضا ثدييات جديدة كالخنازير البرية ذات الأرجل الطويلة وكانت تغوص في الماء نهارا وتسعي في الأحراش ليلا كما ظهرت القطط وحيوان الكركدن(الخرتيت) الضخم وكان يشبه الحلوف إلا أن طباعه كانت تشبه طباع الزرافة كما ظهر الفيل

المائي الذي كان يشبه سيد قشطة وكان فمه واسعا وله نابان مفلطحان لهذا أطلق عليه حيوان البلاتيبلادون الذي كان يعيش علي الأعشاب المائية وكانت الطيور كبيرة وصغيرة وكان من بينها النسور والطيور العملاقة التي كانت تشبه النعام إلا أنها كانت أكبر منها حجما وكانت لا تطير بل تعدو وكان كتكوتها في حجم الدجاجة إلا أنها كانت مسالمة ووجد طائر الفوروهاكس العملاق وكان رأسه أكبر من رأس الحصان ومنقاره يشبه الفأس وعيناه لاترمشان و يمزق فريسته لأنه كان يعيش علي الدم.



٤ـالعصر الميوسيني: Miocene epoch:

منذ ٢٤ – ٥ مليون سنة وفيه عصر الفيلة بمصر وفي رسوبياته البترول وظهر به ثدييات كالحصان والكلاب والدببة والطيور المعاصرة والقردة بأمريكا وجنوب أوروبا .



٥ـالعصر البيلوسيني: Paleocene epoch:

منذ ٥- ١،٨ مليون سنة وفيه بدأ ظهور الإنسان الأول البدائي (أشباه الإنسان) والحيتان المعاصرة بالمحيطات .



ب -الزمن الرباعي:

ويضم عصرين هما:

١-البليستوسيني: Pleistocene Epoch:

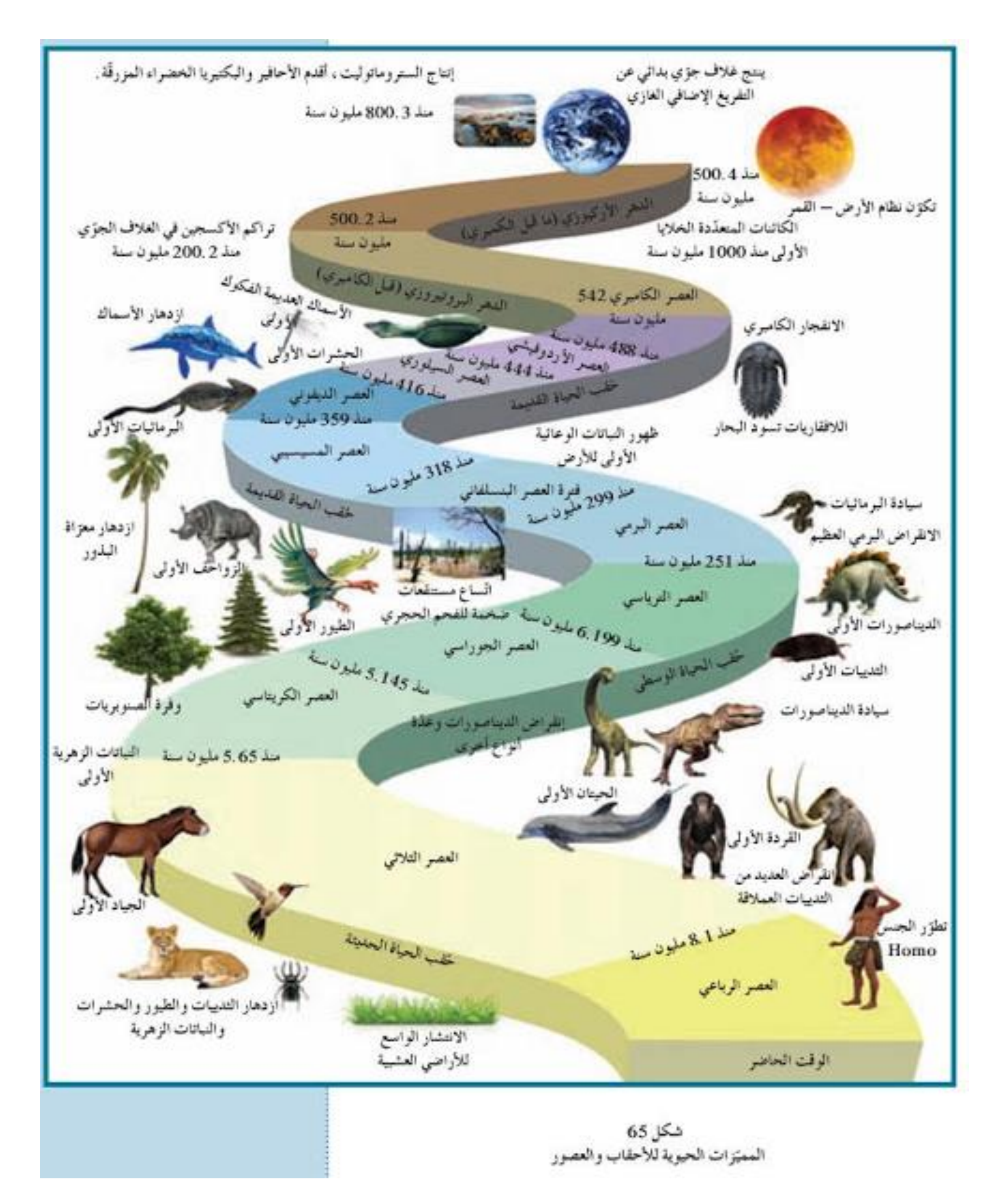
منذ ١،٨ مليون -٠ ١١٠٠٠ سنة وفيه العصر الجليدي الأخير حيث إنقرضت الثدييات العظمية (الفقارية) عندما غطي الجليد معظم المعمورة وقبله منذ مليون سنة كان الجو حارا وكانت الطيور وقتها مغردة والحشرات طائرة وعاش فيه حيوان البليوتراجس الذي كان يشبه الحصان والزرافة وكان له قرون فوق رأسه وأرجله مخططة وأذناه تشبه آذان الحمير وبهذا العصر ظهر الإنسان العاقل الصانع لأدواته و عاشت فيه فيلة الماستدون و الماموث وحيوان الدينوثيرم الذي كان يشبه الفيل لكن أنيابه لأسفل وحيوان الخرتيت وكانوا صوفي الشعر الذي كان يصل للأرض وهذه الفيلة كانت أذناها صغيرتين حتي لاتتأثرا بالصقيع كما ظهر القط (سابر) ذات الأنياب الكبيرة والنمور ذات الأسنان التي تشبه السيف وكانت تغمدها في أجربة بذقونها للحفاظ علي حدتها وفيه كثرت الأمطار بمصر رغم عدم وجود الجليد بها وصخور هذا العصر عليها آثار الجليد وقد ترك الإنسان الأول آثاره بعد إنحسار الجليد وقد حدث به إنقراض كبير للثدييات الضخمة وكثير من أنواع الطيور منذ ١٠ آلاف سنة بسبب الجليد حيث كانت الأرض مغطاة بالأشجار القصيرة كأشجار الصنوبر والبتولا.



٢-العصر الهولوسيني: Holocene :

منذ١١٠٠٠سنة وحتي الآن آخر العصور الجيولوجية وقد بلغ فيه الإنسان أعلي مراتبه ومعظم الكائنات الحية التي آلت لهذا العصر منذ مطلعه ظلت كما هي عليه اليوم إلا أن في هذا العصر ظهرت الحضارة الإنسانية والكتابة .





شكل 65
المميّزات الحيوية للأحقاب والعصور

الأزمنة الجيولوجية وأهميتها الجغرافية:

نحن نفكر في التاريخ البشري بوحدات زمنية قوامها القرون والأجيال والسنين، ومثل هذا التقسيم الزمني لازم وضروري لتنظيم أفكارنا، ولربط الأحداث الماضية في مختلف أوجه النشاط البشري وفي مختلف الأماكن بعضها ببعض، وبنفس الطريقة يلزم لتاريخ الأرض الطويل تقسيمات زمنية تقدر بعشرات ومئات الملايين من السنين، إذ لا تجدي في إدراكها وتصورها الوحدات الزمنية التي نستخدمها كالسنين أو الأجيال أو القرون أو حتى آلاف السنين.

تقدير عمر الأرض:

لقد استخدم العلماء طرقًا شتَّى لتقدير عمر الأرض، ووصلوا بواسطتها إلى نتائج متباينة، ومن أهمها ما يأتي:

١- تقدير سمك الطبقات الرسوبية، ثم تقدير متوسط سمك الرواسب التي يمكن أن تتراكم في كل عام، وبقسمة الرقم الأول على الرقم الثاني أمكن الوصول إلى تقدير عمر الأرض، وقد وجد أن أكبر سمك لجميع الطبقات الجيولوجية يبلغ ١١٠٢٠٠ مترًا، كما وجد أن متوسط سمك ما يتم إرسابه من التكوينات سنويًّا هو ١٥/١ من السنتيمتر الواحد، ومن ثم أمكن تقدير عمر الأرض بنحو ١٦٥ مليون سنة.

وهذه الطريقة في الواقع لا يمكن الاعتماد عليها في تقدير معقول لعمر الأرض؛ وذلك لسببين هامين هما:

أولهما: أن معدل الإرساب يختلف من مكان لآخر باختلاف الظروف والأحوال.
ثانيهما: أن الطبقات الرسوبية تتعرض للنحت والاكتساح بواسطة عوامل التعرية، ومن ثم يصعب تقدير السمك الحقيقي للرواسب الأصلية.

2 - وجد حديثًا أن خير وسيلة لتقدير عمر الأرض هي استخدام العناصر المشعة التي تحتويها معادن وصخور قشرة الأرض، فعنصر اليورانيوم والثوريوم يتحللان بالإشعاع بمرور الزمن، ويتحولان إلى غاز الهيليوم وعنصر الرصاص، ولما كانت سرعة التحلل من الوجهة الزمنية معروفة لدى العلماء، فإنه أصبح من الممكن لتحديد عمر الصخر أو المعدن الذي يحتوي على العنصر المشع وعلى مخلفاته، وبهذه الطريقة تمكن العلماء من تقدير عمر الأرض منذ بداية الزمن الأركى بنحو ٢١٠٠ مليون سنة، كما قدروا عمر تصلب قشرة الأرض بنحو ٣٢٠٠ مليون سنة، وعمر الأرض منذ انفصالها واستقلالها بنحو ٤٥٠٠ مليون سنة.

التاريخ الجيولوجي للأرض:

لقد أجمع الجيولوجيون على تقسيم عمر الأرض إلى أربعة أزمنة، كل زمن منها ينقسم بدوره إلى عدة عصور، ويمتاز كل زمن وكل عصر بمجموعة من الطبقات الصخرية وبحياة حيوانية ونباتية تختص به وتميزه عن غيره.

وقد تمكن العلماء من وضع جدول كامل للتكوينات الرسوبية بحسب الأزمنة والعصور، وهو يهدف إلى ترتيب الأحداث الجيولوجية ترتيبًا زمنيًّا منذ تكوين الأرض إلى عصرنا الحاضر، وقد استعانوا في ذلك بأساسين هامين هما:

1 -تعاقب الطبقات:

هناك قاعدة أساسية تختص بالصخور الرسوبية دون سواها، ومؤداها أن كل طبقة تعتبر أقدم من الطبقة التي تعلوها، وأحدث من الطبقة التي تقع أسفلها، وتسمى هذه القاعدة بقانون تعاقب الطبقات.

على أن تطبيق هذه القاعدة له عيوبه، ففي الجهات التي أصابتها حركات الالتواء والانكسار نجد الطبقات الصخرية قد انقلبت ظهرًا على عقب، وبالتالى يختل توافقها وتتابعها الزمني، ولهذا فقد لجأ العلماء إلى الاستعانة بالحفريات للوصول إلى تحديد التعاقب الزمني للأحداث الجيولوجية.

2- الحفريات:

هي بقايا الكائنات الحية سواء كانت حيوانية أو نباتية التي يعثر عليهافي تكوينات الصخور الرسوبية، وهى تعتبر الدليل المباشر على وجود الكائنات الحية في سالف الزمن، وتتمثل هذه البقايا في أجزاء صلبة مثل المحارات وهياكل المرجان وعظام الحيوانات الفقارية، كما تتمثل في جذوع النبات وأوراقه.
وعلى الرغم من أن هذه الحفريات لا تعطي الصورة الكاملة للكائنات الحية القديمة إلا أن دراسة خصائصها ومميزاتها تساعد مساعدة فعالة في تقسيم التاريخ الجيولوجي للأرض، ولذلك فهي تعرف أحيانًا بالحفريات المرشدة؛ لأنها ترشد الجيولوجي إلى طبيعة الزمن أو العصر الذي عاشت فيه.

ولكي تتحول الكائنات الحية إلى حفريات يلزم لها شرطان:

الأول: أن تحتوى على أجزاء صلبة تقاوم عوامل التحلل والفناء، وبالتالي فإن الحيوانات الرخوة مثل أسماك الجيلى لا تترك أثرًا بعد موتها وتحللها.

الثاني: أن يندفن الحيوان أو النبات في الرواسب بمجرد موته، وإلا تعرض للتمزق ثم التشتت والفناء بواسطة عوامل التعرية.

أهمية الحفريات:

للحفريات دلالات وفوائد كثيرة أهمها:

1- تحديد عمر الطبقات الصخرية التي تحتويها ومعرفة العصر الذي كانت تعيش فيه. والحفريات هي الأساس الذي يعتمد عليه الجيولوجيون في عمل تاريخ متكامل لعمر الأرض.

2- يمكن عن طريق دراسة الحفريات الاستدلال على البيئة الجغرافية القديمة التي كانت تعيش فيها، وعلى الظروف المناخية التي كانت سائدة أثناء وجود الكائن الحي في مكان معين، فحفريات أشجار النخيل مثلًا تدل على شيوع مناخ حارٍ.

3- أمكن بواسطة الحفريات الاستدلال على التطور الذي حدث للكائنات الحية منذ أقدم الأزمنة حتى عصرنا الحالي، فالحيوان قد بدأ بخلية واحدة وانتهى بأرقى الأنواع وهو الإنسان، كما تطورت النباتات البدائية وارتقت إلى النباتات المزهرة الحالية.

أقسام التاريخ الجيولوجي للأرض:

قسم الجيولوجيون تاريخ الكرة الأرضية إلى أربعة أزمنة كبرى هى من القديم إلى الحديث كما يلي:

1- الزمن الأركي أو زمن ما قبل الكمبري.

2- الزمن الباليوزوي أو زمن الحياة القديمة.

3- الزمن الميزوزوي أو زمن الحياة الوسطى.

4- الزمن الكاينوزوي أو زمن الحياة الحديثة.

وقد أمكن تقسيم كل زمن إلى وحدات زمنية أصغر، وذلك لتسهيل الدراسة الجيولوجية، والمساعدة على متابعة التعاقب الزمني، مثال ذلك زمن الحياة الحديثة الذي يمكن تقسيمه إلى قسمين: يعرف أحدهما بالثالث أو الثلاثي" أقدم"، ويعرف الأحدث بالرابع أو الرباعي، وكل منهما يختص بمميزات معينة.

وقد أمكن أيضًا عن طريق دراسة تغير الحفريات وتدرجها وتطورها تقسيم الأزمنة إلى عصور، والعصور إلى عهود.

وعندما ندرس الأزمنة والعصور الجيولوجية ينبغي أن نلاحظ الأمور الآتية:

1- أن الأزمنة والعصور ليست متساوية في الطول، فبعضها طويل جدًّا كالزمن الأركي، وبعضها قصير نوعًا كزمن الحياة الحديثة.

2- أن لكل زمن ولكل عصر حفرياته وتكويناته الخاصة به، والتي تميزه عن غيره.
3- أن فترات الانتقال من زمن لآخر قد صحبتها عمومًا حركات أرضية أنشأت الجبال والهضاب، وغيرت من معالم سطح الأرض، كما نتج عنها تغيير كبير في أنواع الكائنات الحية.

4- الاختلاف في أسماء العصور، إذ فضلًا عن أن الاختلاف في التسمية له أهميته البديهية كاختلاف أسماء البشر، فإن له دلالاته الخاصة، فقد يسمى العصر بحسب قدمه أو حداثته بالنسبة لعصر آخر، مثال ذلك عصر الأوليجوسين معناه العصر الأقل حداثة بينما عصر البلايوستوسين معناه العصر الأكثر حداثة، وهكذا في كل أسماء عصور زمن الحياة الحديثة، فكل اسم منها يدل على نسبة العصر في الحداثة.

وقد يسمى العصر باسم صفة مميزة في تركيب طبقاته، مثل العصر الفحمي الذي يحتوي على طبقات من الفحم، أو العصر الطباشيرى" الكريتاسي "الذي يحتوي على الكثير من

الرواسب الطباشيرية، وقد يسمى العصر باسم الموقع الجغرافي الذي اكتشفت فيه تكويناته لأول مرة أو حيث توجد به التكوينات بصورة مثالية، مثل العصر الكامبري وهو الاسم القديم لأقليم ويلز بانجلترا، والعصر الديفوني نسبة إلى مقاطعة ديفون بجنوب غرب انجلترا، والعصر البرمي نسبة لمنطقة بيرم في روسيا.

وقد يسمى العصر باسم مجموعة عصور بشرية كعصر الأوردوفيش والسيلورى، وقد سميا باسمي قبيلتين قديمتين كانتا تعيشان في ويلز.

الأزمنة الجيولوجية:

A- الزمن الأركي:

سبب التسمية:

كلمة أركي تعنى الأول، أي بداية عمر الأرض بعد تكوينها وتصلب قشرتها.

المدى الزمني:

يقدر مداه الزمني بمقدار يتراوح بين ١٥٠٠ مليون و ٢٠٠٠ مليون سنة أي قدر الأزمنة الجيولوجية الثلاثة التي تَلَتْهُ بنحو ثلاث أو أربع مرات.

أنواع الصخور:

صخور نارية كالجرانيت، ومتحولة كالنيس والشست والرخام، وهي تمثل الأساس الذي ترتكز عليه الكتل القارية الحالية، وتظهر فوق السطح، حيثما استطاعت عوامل التعرية أن تنحت الطبقات الرسوبية السطحية، وتصل إلى هذا الأساس الصخري الأركي. وتبدو هذه الصخور الأركية ظاهرة واضحة فوق مساحات شاسعة حول البحر البلطي، وفي كندا وشبه جزيرة العرب وأفريقيا وغيرها من الكتل القارية الأركية.

الأحداث الجيولوجية:

تمثلت في اضطرابات أرضية عنيفة، أدت إلى حدوث سلسلة متتابعة من الحركات الالتوائية صاحبها نشاط بركاني عظيم.

أنواع الأحياء:

ينعدم وجود حفريات حيوانية ونباتية في قسمه الأول وفي قسمه الثاني وجدت بقايا نادرة لحيوانات إسفَنْجية وأعشاب، وهي تمثل ظهور الحياة في أواخر الزمن الأركي.

الأهمية الاقتصادية:

تحتوى تكوينات هذا الزمن على صخور ومعادن ذات قيمة اقتصادية كبيرة، فمن صخوره القيمة صخر الرخام الملون والجرانيت الوردي أو الأحمر، وهما يستخدمان كأحجار زخرفية، كما يستعمل الجرانيت عمومًا؛ بسبب شدة صلابته في بناء المنشآت الضخمة كالسدود ومنها السد العالي والخزانات والقناطر.
ومن معادنه الذهب والفضة والنحاس والزنك والحديد والكروم والنيكل والرصاص والقصدير، وهي تعدن أو بعضها في كثير من أقطار العالم مثل اسكنديناوه وكندا والولايات المتحدة وأمريكا الجنوبية وجمهورية مصر العربية، ويوجد بعض الذهب في المملكة العربية السعودية، كما تعدن بعض خامات العناصر المشعة من زائير.

هذا عدا الأحجار الكريمة وشبه الكريمة وأهمها الزبرجد في جزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، والزمرد المصرى.

B- زمن الحياة القديمة:

سبب التسمية:

يقصد بزمن الحياة القديمة ذلك الزمن الذي ظهرت فيه أحياء تختلف كل الاختلاف عن أحياء عصرنا الحاضر، وقد زالت كلها وانقرضت تمامًا.

المدى الزمني:

حوالى ٣٣٠ مليون سنة.

العصور:
الكمبري، الأردوفيشي، السيلوري، الديفوني، الفحمي، البرمي.

أنواع الصخور:

تتمثل في تكوينات صخرية رسوبية طينية ورملية وجيرية، وتبدو الصخور عمومًا مندمجة وداكنة اللون؛ ويرجع ذلك إلى تعرضها للضغط والحرارة بسبب ثقل الرواسب التي تراكمت فوقها أثناء الأزمنة والعصور اللاحقة.

الأحداث الجيولوجية:

1- نشطت البراكين في أثناء هذا الزمن خصوصًا في أواسطه وأواخره، ولذلك تكثر الصخور البركانية بين طبقاته الرسوبية.

2- حدثت في أواسطه في العصر السيلوري، حركة الالتواءات الكاليدونية التي استطاعت أن ترفع قيعان البحار القديمة بما تحمله من رواسب، والتي كانت تجاور الكتل القارية الأركية في هيئة جبال نحتتها عوامل التعرية فيما بعد. ومن بقاياها مرتفعات اسكندينا وه واسكتلنده في قارة أوربا.

3- حدثت في أواخره حركة الالتواءات الهرسينية" في العصرين الفحمي والبرمي "التي أنشأت نطاقات عظيمة من السلاسل الجبلية في مختلف القارات. وتتمثل بقاياها الآن في مرتفعات وهضاب وسط أوربا، وفي شرق أمريكا الشمالية وشرق استراليا.

<u>أنواع الأحياء:</u>

الحيوان: شاع وجود الحيوانات اللافقرية في البحار كالقواقع. وفي أواسطه بدأ ظهور الحيوانات الفقرية ممثلة في أنواع من الأسماك البدائية، وفي أواخره ظهرت حيوانات برمائية. كما ظهرت الزواحف.

النبات: تطورت النباتات البدائية، ونمت بسرعة أولًا في البحار ثم فوق اليابس، وقد كثرت الأشجار المخروطية والنباتات السرخسية، وانتشرت انتشارًا عظيمًا خاصة في العصر الفحمي، مما ساعد على تكوين الرواسب الفحمية في المناطق التي توافرت فيها الظروف الطبيعية الملائمة لتكوينها، وتتمثل هذه الظروف في وجود مستنقعات وبحيرات ساحلية ضحلة، تساقطت فيها أجزاء النبات وانطمرت في الرواسب، وبسبب تعرض هذه النباتات المطمورة إلى ارتفاع الضغط وازدياد الحرارة من جراء تراكم الرواسب فوقها، فقد تحولت بمرور الزمن إلى فحم يسمى بالفحم الحجرى تمييزًا له عن الفحم النباتي الذي يصنعه الإنسان من أخشاب الأشجار الحالية.

<u>الأهمية الاقتصادية:</u>

أهم ما يستغل من تكوينات هذا الزمن هي الرواسب الفحمية، وتوجد أهم مناجمها في انجلترا وفرنسا وبلجيكا والاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة والصين، كما توجد أيضًا في بعض البلاد العربية كجمهورية مصر العربية واليمن، ولكن بكميات قليلة.

وتحوي تكوينات هذا الزمن أيضًا بعض الخامات المعدنية، كخام الحديد في انجلترا، والمنجنيز في شبه جزيرة سيناء.

<u>C- زمن الحياة الوسطى:</u>

<u>سبب التسمية:</u>

سمي بزمن الحياة الوسطى؛ نظرًا لأن الحياة الحيوانية والنباتية وسط بين أحياء زمن الحياة القديمة وزمن الحياة الحديثة، إذ ترجع بعض أنواعها إلى أسلاف عاشت في العصور القديمة، كما تطورت أنواع أخرى عاشت في هذا الزمن واستمرت وارتقت في عصور زمن الحياة الحديثة.

المدى الزمني:

يقدر مداه بنحو ١٢٥ مليون سنة.

العصور:

الترياسي، والجوراسي، الكريتاسي" أو الطباشيري."

أنواع الصخور:

صخور رسوبية تراكم معظمها فوق قيعان البحار والمحيطات.

وهي تتركب من طبقات متتابعة من الصخور الطينية والرملية والطفلية والجيرية والطباشيرية وتتخللهما مستويات من الجبس أو الملح.

الأحداث الجيولوجية:

كان هذا الزمن زمن هدوء وسكون، فلم تتعرض فيه قشرة الأرض لتأثير اضطرابات أو حركات أرضية بطيئة اللهم إلا في أواخره حين بدأت حركة الالتواءات الألبية التي استمرت وبلغت عنفوانها في زمن الحياة الحديثة، وتخلو تكويناته من آثار النشاط البركاني إلا فيما ندر.

أنواع الأحياء:

الحيوان:

1- في البحر:

تطورت وارتقت وانتشرت معظم أنواع الحيوانات اللافقرية، كما انقرضت بنهايته أنواع هامة منها، وظهرت القنافذ البحرية البدائية، وارتقت أنواع الأسماك وكان من بينها ما يشبه بعض الأنواع الحالية.

2-فوق اليابس:

شاعت الزواحف وازدهرت وتطورت وبلغت أحجامًا عملاقة، ومن أمثلتها حيوان الديناصور وكذلك السلاحف والتماسيح، وقد اختفت كلها بانتهاء هذا الزمن، وظهرت الحيوانات الثديية الأولية متطورة من الزواحف، وكانت من الأنواع الكيسية التى تحمل صغارها في كيس يقع أسفل بطنها مثل الكنجرو الذي يعيش حاليًا في استراليا.

ظهرت الضفادع والفراشات والطيور الأولية. وكانت الطيور ضخمة ذات أسنان، وهي تمثل بداية التطور من الزواحف إلى الطيور، التي تطورت وارتقت فيما بعد، ولم تنتشر إلا في العصور الجيولوجية الحديثة، كثرت الحشرات، وكان بعضها يشبه الأنواع الحالية. ظهرت السحالي وأشباه الثعابين والتماسيح الحالية.

النبات:

اختفت الأشجار الضخمة التي انتشرت في زمن الحياة القديمة، وحلت محلها أنواع الأشجار الصنوبرية التي تشبه الأنواع الحالية.

بدأ ظهور النباتات المزهرة في أواخر هذا الزمن كأنواع من أشجار النخيل.

الأهمية الاقتصادية:

يستغل الملح الصخري والجبس من بعض طبقاته، وتحتوى تكويناته على خام الحديد الذي يعدن في جنوب مصر قرب أسوان، وعلى خام الفوسفات الذي يستغل في جهات متفرقة من مصر والمغرب، ويستغل البترول من طبقاته التي تنتمي لعصر الكريتاسي" أو الطباشيري "في الكويت ومنطقة الخليج العربي.

D- زمن الحياة الحديثة:

سبب التسمية:

بديهي أن يسمى أحدث الأزمنة التي ينقسم إليها عمر الأرض بزمن الحياة الحديثة، كما أن الأحياء التي عاشت أثناءه تشبه الأحياء التي تعيش في عصرنا الحاضر.

ولما كان هذا الزمن ينقسم إلى قسمين متميزين: ثلاثي ورباعي، ولهذا فإننا سنتناول بالدراسة كلًا منهما على حدة:

أولًا: القسم الثلاثي:

المدى الزمني:

حوالى ٧٠ مليون سنة.

العصور:

الباليوسين، الأيوسين، الأوليجوسين، الميوسين، البليوسين.

أنواع الصخور:

تتركب من طبقات متتابعة من الصخور الجيرية والطفلية والطينية، وينتشر وجود هذه الصخور في معظم البلاد العربية.

الأحداث الجيولوجية:

صحب هذا القسم الثلاثي نشاط بركاني عظيم، وحركات انكسارية على نطاق واسع أدت إلى تكوين الأخدود الأفريقي العظيم الذي يفصل الآن بين قارتي آسيا وإفريقيا، ويقع فيه البحر الأحمر ومنخفض نهر الأردن.

وقد بلغت الحركات الالتوائية الألبية عنفوانها، وكان لها أكبر الأثر في تشكيل سطح الأرض، فارتفعت سلاسل الجبال الضخمة التي تمتد امتدادًا عظيمًا بعلو شاهق في معظم القارات الحالية كسلاسل الألب في أوربا، والهيملايا في آسيا، وأطلس في المغرب العربي، والروكي والأنديز في غرب الأمريكتين.

وقد بدأ توزيع اليابس والماء يتخذ شكله الحالي تقريبًا.

أنواع الأحياء:

أولًا: في البحر:

ازدهرت الأسماك الفقرية والرخويات، واقتربت الحيوانات البحرية عمومًا من أشكالها الحالية، وظهر الكثير من فصائل الحيوانات الثديية البحرية.

ثانيًا: فوق اليابس:

استمر وجود الزواحف كالثعابين والسحالي.

تضخمت أحجام الحيوانات الثديية، وظهرت منها أنواع عملاقة انقرضت بانتهائه، اندثرت الطيور ذوات الأسنان، وحلت محلها طيور عديمة الأسنان، كثرت الحشرات وتنوعت.

انتشر أسلاف الفيل والجمل الحاليين، كما ظهر البقر الوحشي والغزلان والحمير البرية والخيول والثيران والدببة والذئاب وغيرها.

ظهرت أنواع عديدة من القردة ومنها القردة العليا.

تكاثرت النباتات المزهرة، وانتشرت انتشارًا كبيرًا مثل النخيل وأشجار الصنوبر والتين وغيرها.

الأهمية الاقتصادية:

تستغل الصخور الجيرية والطينية في صناعة الأسمنت، وتستخدم أنواع الجبس في صناعة المصيص، والبازلت في رصف الطرق، وتحتوي التكوينات على خامات الكبريت والزنك والرصاص والبترول كما في جمهورية مصر العربية.

القسم الرباعي:

ويشتمل على عصرين فقط هما البلايوستوسين والحديث.

المدى الزمني:

حوالي مليون سنة.

أنواع الصخور:

تتركب تكوينات عصر البلايوستوسين من الرواسب التي نحتها واكتسحها الجليد المتحرك ثم أرسبها، ومن رواسب الأنهار القديمة.

أما تكوينات العصر الحديث فتتركب من رواسب الأنهار الحالية من حصىً ورمل وطمي، ومن الرواسب الهوائية مثل الكثبان الرملية، ومن الرواسب التي تتراكم في البحيرات والبحار والمحيطات.

الأحداث الجيولوجية:

تتمثل في استمرار بطيء جدا لحركات الرفع الالتوائية الألبية، ومع نشاط بركاني محدود، وقد اتخذت القارات والمحيطات توزيعها الحالي تقريبًا، وفي أثناء عصر البلايوستوسين الذي يعرف أيضًا بالعصر الجليدي انخفضت درجات الحرارة العالمية. كما ازداد التساقط في هيئة ثلج مما أدى إلى تراكم الجليد فوق مساحات هائلة من قارة أوربا وآسيا وأمريكا الشمالية، أما في نطاق الصحاري الحارة الجافة حاليًا كالصحراء الكبرى الإفريقية، فقد ازداد سقوط المطر ومن ثم يعرف هذا العصر فيها بالعصر المطير.

أنواع الأحياء:

لا تزال الغالبية العظمى من الكائنات الحية التي عاشت في عصر البلايوستسين موجودة حتى وقتنا الحالى، ولم ينقرض سوى عدد قليل من الحيوانات الثديية، وقد ثبت بما لا يدع مجالًا للشك بأن الإنسان كان موجودًا في هذا العصر، فقد عثر على عظام الإنسان نفسه، وعلى الكثير من الأدوات الحجرية التي كان يستعملها في الصيد وفي الدفاع عن نفسه.

أما في العصر الحديث فقد بلغت الأحياء أقصى درجات الكمال، وهو عصر الإنسان الحديث الذي يعتبر تاج الخليقة.

الأهمية الاقتصادية:

تستخدم الرواسب الجليدية كالجلاميد والحصى والرمال والطين في رصف الطرق وصنع الطوب للبناء، أما الرواسب النهرية فهي تكون التربة الزراعية الخصيبة التي تمد البشر بمواد الغذاء ومحاصيل الألياف.

الأهمية الجغرافية للأزمنة الجيولوجية:

من هذا العرض العام للأزمنة الجيولوجية يتضح بجلاء أنها ذات أهمية كبيرة بالنسبة للجغرافي، فهي تفسر له الكثير من الظاهرات الجغرافية البحتة التي يتعذر عليه تفسيرها ما لم يكن ملمًّا بخصائص كل منها. وأنت بعد قراءتك لمميزات الأزمنة الجيولوجية والتطورات الطبيعية والحيوية التي حدثت خلالها لن يستعصي عليك فهم ظاهرات مثل:

1- اختلاف التركيب الصخري لمختلف القارات من حيث النوع والعمر، فمن الصخور ما هو صلد قديم قدم الأرض، ومنها ما هو لين إرسابي حديث النشأة.

2- عدم استقرار حالة سطح الأرض، فاليابس قد يهبط ويصبح قسمًا من قاع بحر، وقاع البحر قد يرتفع ويصبح جزءًا من يابس قارة. وتوزيع اليابس والماء قديمًا كان يختلف عنه في وقتنا الحالي.

3- نشوء الجبال والهضاب وتطورها. فهي تولد وترتفع عاليًا، ثم تتناولها عوامل التعرية بالنحت والاكتساح، وحمل موادها إلى المحيطات، ثم تأتي اضطرابات أرضية جديدة فيرتفع سطح الأرض من جديد.

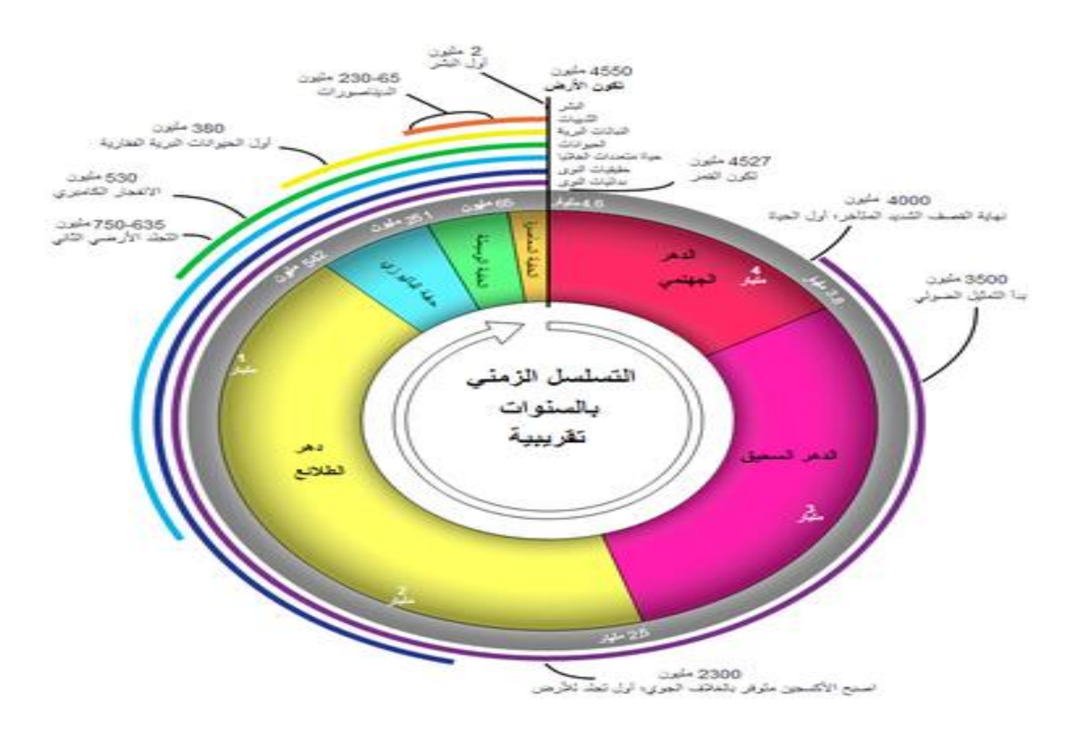
4- التشابه في امتدادات الجبال واتجاهاتها. فجبال الألب في أوربا والهيمالايا في آسيا تمتد شامخة عظيمة من الغرب إلى الشرق، وأنت تجد تفسير ذلك إذا رجعت إلى الأحداث الجيولوجية في زمن الحياة الحديثة، فتكوينها مرتبط بحركات أرضية حدثت فيه، وستجد هناك إيضاحًا لتكوين الأخدود الإفريقي العظيم الذي يقع فيه البحر الأحمر.

5- النشاط البركاني الحالي وارتباطه بأجزاء معينة من سطح الأرض، تلك الأجزاء الضعيفة المقلقلة التي أصابتها حركات أرضية حديثة كما في جنوب أوربا وغرب الأمريكتين.

6- الأحياء التى تجدها الآن على الأرض تسعى وتملأ وجهها بالحركة والحياة ويتوجهها وجود الإنسان، كلها قد نشأت وتطورت وارتقت خلال الأزمنة والعصور الجيولوجية. ولا يمكن للجغرافي أن يفهمها على حقيقتها إلا إذا بحث في ماضيها.

7- التعرف على توزيع المعادن والرسوبيات القيمة المفيدة، فهى ترتبط بتكوينات عصور جيولوجية معينة. كالفحم مثلًا الذي يرتبط وجود أنواعه الجيدة بالعصر الفحمي.
من هذا ترى أن لكل ظاهرة جعرافية ماضيها وحاضرها ومستقبلها، ولا يمكن فهمها إلا بالتعرف على ماضيها، ومن هنا تأتي أهمية الإلمام بخصائص الأزمنة والعصور الجيولوجية بالنسبة للجغرافيا.

مقياس زمنى جيولوجى:



المقياس الزمني الجيولوجي يستعمل من قبل الجيولوجيين (علماء الأرض) وغيرهم من العلماء لتوقيت وإظهار العلاقات بين الأحداث التي حدثت خلال تاريخ الأرض. جدول العصور الجيولوجية يتوافق مع التواريخ والمصطلحات المقترحة من قبل الاتحاد الدولي. وهو عبارة عن جدول تترتب به الاحداث التي مرت بها الأرض وبداية ظهور الكائنات عليها

<u>يلخص الشكل العصورالجيولجية التي مرت على الأرض منذ نشأتها وأهم الأحداث:</u>

- قبل ٤٥٦٥ مليون سنة نشأة القمر.
- قبل ٤٠٠٠ مليون سنة بدء ظهور كائنات ميكروبية.
- قبل ٣٥٠٠ مليون سنة بدء التمثيل الضوئي في كائنات ميكروبية بدائيات النوى.
- قبل ٢٣٠٠ مليون سنة توفر الأكسجين ، أول تجلد للأرض.
- قبل نحو ٢٠٠٠ مليون سنة ظهور حقيقيات النوى.
- قبل نحو ١٥٠٠ مليون سنة ظهور متعددات الخلايا.
- قبل نحو ٧٥٠ - ٦٣٠ مليون سنة التجلد الثاني للأرض.
- قبل ٥٣٠ مليون سنة الانفجار الكمبري وتعدد صور الحياء في المياه.
- قبل ٣٦٠ مليون سنة ظهور البرمائيات والحيوانات البرية الفقارية ، والنباتات البرية.
- قبل ٢٣٠ - ٦٥ مليون سنة ظهور الديناصورات ، و الثدييات (انقراض الديناصورات قبل ٦٥ مليون سنة). قبل نحو ٢ مليون سنة ظهور الإنسان .

ب – مشكلات تحديد الأعمار في مقياس الزمن الجيولوجي:

على الرغم من أنه أمكن التوصل إلي تقديرات دقيقة لأعمار مختلف أقسام العمود الجيولوجي، فإن هذا لا يعني أن الأمر يخلو من صعوبات. وتكمن الصعوبة الأولى في وضع تقدير دقيق للعمر في أنه لا يمكن تقدير عمر كل الصخور باستخدام الطرق الإشعاعية، وذلك يرجع إلي أنه لكي تكون عملية التقدير دقيقة، فلابد أن تكون كل المعادن الموجودة في الصخر قد تكونت في وقت واحد. ولهذا السبب، فإننا نستخدم النظائر المشعة لتحديد متى تبلورت المعادن المكونة للصخر الناري، ومتى وصلت درجة الحرارة والضغط إلي الحد، الذي يساعد على تكوين معادن جديدة في الصخر المتحول.

أما الصخور الرسوبية فإنها نادرا ما يمكن تحديد عمرها باستخدام المواد المشعة مباشرة. وعلى الرغم من أن الصخور الرسوبية الفتاتية قد تحتوي على حبيبات بها نظائر مشعة، إلا أن عمر الصخر نفسه لا يمكن تحديده بطريقة دقيقة، لأن الحبيبات المكونة للصخر لا تنتمي إلي عمره نفسه. كما أن الرواسب تأتي من صخور مختلفة العمر بالتجوية. كما أن الأعمار المقدرة من الصخور المتحولة قد يصعب تفسيرها، لأن عمر معدن معين في الصخر المتحول لا يمثل بالضرورة عمر تكوين الصخر الصلي، بل قد يمثل مرحلة من مراحل التحول اللاحقة. اما إذا كان الصخر الرسوبي لا يحتوي على مواد مشعة مناسبة لتقدير عمره المطلق، فإنه يتحتم على الجيولوجي ربط الطبقات الرسوبية بأجسام نارية يمكن تحديد أعمارها المطلقة، حيث تكون الطبقات الرسوبية أقدم عمراً من الأجسام النارية غير المتأثرة بها في التتابع نفسه .

ومن مثل هذا النوع من الشواهد، يمكن للجيولوجي أن يقدر عمر الصخور الرسوبية تقديرا مطلقا. كما يتضح مدى أهمية الربط بين الدراسات المعملية والمشاهدات الحقلية عند القيام بهذه المهمة.

– التصنيف الطبقي (الاستراتجرافي):

تضم الوحدات الطبقية (الاستراتجرافية) stratigraphic units مجموعة الطبقات التي يمكن تقسيمها بناءً على خصائصها الطبيعية أو الكيميائية أو محتواها من الحفريات. كما تشمل تلك الوحدات أيضا وحدات زمنية time units يتم وضعها بناءً على أعمار هذه الطبقات. ولقد تنبه العلماء في أواخر القرن التاسع عشر إلي أهمية فصل مفهوم الزمن الجيولوجي وتقسيماته عن أقسام الصخور، التي ترسبت خلال هذا الزمن. ولقد أدى هذا الفصل إلي نشأة وحدات الزمن الجيولوجي geologic time units والتي تشمل مختلف عصور periods الزمن الجيولوجي، وأيضا الوحدات الزمنية الصخرية time – rock units والتي تشمل أنظمة systems الصخور التي تكونت خلال هذه العصور .

وقد قام الجيولوجيون في مختلف أنحاء العالم منذ نهاية القرن التاسع عشر، وخلال القرن العشرين، بعمل شبكات من المضاهاة الاستراتجرافية وعمل تدقيق لمقياس الزمن الجيولوجي، إلا أنهم استخدموا مصطلحات ومفاهيم مختلفة مما أدى إلي حدوث كثير من اللبس. وللقضاء على هذا اللبس ولوضع قواعد ثابتة لتسمية الوحدات الطبقية الرسمية ، عقد عديد من المؤتمرات العملية المحلية والدولية.

<u>ويشمل هذا الدليل خمسة أنواع من الوحدات، وهي:</u>

وحدات الزمن الجيولوجي geochronologic units أو time units .

والوحدات الطبقية الزمنية chronostratigraphic units أو time rock units .

والوحدات الطبقية الصخرية lithostratigraphic units أو rock units.

والوحدات الطبقية الحيوية biostratigraphic units .

ووحدات القطبية المغناطيسية الطبقية polarity time –rock أو chronostratigraphic units polarity.

<u>ويقسم الزمن الجيولوجي</u>: إلي وحدات غير متساوية بناءً على طول الأحداث الجيولوجية المختلفة، وتشمل وحدات الزمن الجيولوجي time units: الدهر eon والحقب era والعصر period والحين epoch والعمرage ، مرتبة من الأطول إلي الأقصر. ويعتبر العصر period الوحدة الزمنية الأساسية.

<u>أما الوحدات الطبقية الزمنية:</u> time – rock units فتشمل الصخور التي ترسبت خلال الفترة الزمنية المساوية لوحدة الزمن الجيولوجي المقابلة لها. وهي تشمل وحدة صخور الدهر eonothem وتقابل الدهر، والتجمع أو صخور الحقب erathem ويقابل الحقب، والنظام system ويقابل العصر، والنسق series ويقابل الحين، والمرحلة stage وتقابل العمر . وتأخذ كل وحدتين متقابلتين من الوحدات السابقة اسما واحدا، فمصطلح الكمبري Cambrian يطلق على العصر الكمبري Cambrian period والذي يشمل الفترة الزمنية الممتدة بين نحو ٥٧٠ إلي ٥٠٠ مليون سنة مضت، بينما يشير مصطلح نظام الكمبري Cambrian system إلي كل الصخور التي ترسبت خلال تلك الفترة الزمنية.

<u>أما الوحدات الطبقية الصخرية</u>: أو باختصار الوحدات الصخرية rock units، فتعبر عن تقسيم التتابع الطبقي بناءً على صفاته الصخرية، بصرف النظر عن زمن تكوين هذه الصخور أو طريقة تكوينها. وتشمل الوحدات الصخرية فوق المجموعة supergroup والمجموعة group والمتكون formation والعضو member والطبقة bed. والوحدة الرئيسية في هذا التصنيف هي المتكون formation. ويضم المتكون مجموعة من الطبقات التي لها نفس الخصائص الصخرية، وتحتوي عادة على نفس المجموعات من الحفريات. وقد تتكون بعض المتكونات من نوع صخري واحد مثل الحجر الجيري، بينما تتكون مكونات أخرى من طبقات رقيقة متبادلة من أنواع مختلفة من الصخور مثل الحجر الرملي والطفلي. وعلى الرغم من هذا الاختلاف، فإن كل متكون يحتوي على مجموعة من الطبقات الصخرية التي يمكن تتبعها على الخرائط الجيولوجية ذات مقياس الرسم المناسب (في حدود ١: ٢٥٠٠٠). ويسمى المتكون باسم بعض المعالم الجغرافية المحلية مثل الأنهار أو المدن أو غيرها، مثل متكون

وادي النطرون Wadi Natrun Formation أو اسم صخر معين مثل طفل إسنا Esna Shale Formation. كما يجب أن يختار للمتكون منطقة مرجعية يوجد بها المتكون بشكل كامل.

أما الوحدات الطبقية الحيوية: فتقوم على أساس تقسيم التتابعات الطبقية على أساس محتواها من الحفريات. والوحدة الساسية للوحدات الحيوية هى النطاق الحيوي biozone وهى طبقة أو مجموعة من الطبقات، تتميز بوجود نوع معين وحيد أو مجموعة مميزة من الحفريات، بغض النظر عن حدود النوعية الصخرية الحاوية لها أو العمر. وقد تتطابق حدود النوع الحيوي مع حدود الوحدات الطبقية الأخرى وقد لا تتطابق. وإذا دلت الحفرية أو مجموعة الحفريات الدالة index fossils على زمن معين، سمي النطاق بالنطاق الزمني chronozone. ويختلف نوع النطاق بناءً على اختلاف درجة الدلالة الزمنية لمجموعة الحفريات المميزة للنطاق، فمنها نطاق المدى range zone، الذي يتحدد من بداية ظهور حتى اختفاء عنصر حفري واحد يميزه، ومنها نطاق المجموعة assemblage zone الذي يتحدد من بداية ظهور عنصرين حفرين أو أكثر حتى اختفائها. كما قد يكون نطاق وفرة acme zone وهو نطاق يتحدد من بداية انتشار ووفرة مجموعة حفرية معينة حتى تناقصها ويسمى النطاق باسم المجموعة الحفرية الدالة عليه.

أما وحدات القطبية المغناطيسية الطبقية:

(polarity time – rock units (magnetostratigraphic units

فهى وحدات حديثة نسبيا، وتقوم على بصمات المغناطيسية القديمة paleomagnetism المتبقية في الصخور، والتي تقاس بهدف تحديد شدة واتجاه مجال الأرض المغناطيسي في الأزمنة الجيولوجية الماضية، حيث تشبه المغناطيسية المتحفرة في الصخور والتي يعبر عنها بنطاق قطبية polarity zone الحفريات المحتواة في الطبقات. وللبصمة المغناطيسية أهمية زمنية يعبر عنها كنطاق قطبية زمني polarity chronozone. وهذه الأهمية الزمنية لأحداث المغناطيسية القديمة وفترات القطبية تمكننا من بناء مقياس زمني بناءً على القطبية القديمة، والذي يظهر اتجاه القطبية القديمة المحفوظة في نوعيات مختلفة من الصخور، مثل: انسيابات اللابة القارية وبازلت قاع المحيط ورواسب البحار العميقة. وتساعد المواد المشعة في تحديد العمر المطلق لأحداث المغناطيسية القديمة، والتي يطلق عليها وحدات قطبية زمنية polarity chronozone units. وفي الرواسب البحرية العميقة يمكن تحديد العمر الدقيق لوحدات القطبية من ربطها بالنطاقات الحيوية.

وبالتالي، فإن المغناطيسية القديمة خاصية في الصخور تظهر تتابعا زمنيا، ويمكن استخدامها في عمل مضاهاة زمنية بين التتابعات الطبقية. فإذا أمكن تعرف أحداث مغناطيسية قديمة وكان من الممكن ربطها بوسائل أخرى للمضاهاة، أصبحت لدينا وسيلة جيدة لمضاهاة الرواسب البحرية العميقة على مستوى عالمي . وقد ثبت أن المغناطيسية القديمة طريقة ممتازة لعمل تقسيم طبقي زمني لصخور حقب الحياة الحديثة والنصف العلوي من حقب الحياة الوسطى، إلا أن تطبيقه على الصخور الأقدم من ذلك تفتقر لوجود قطاعات مرجعية جيدة على مستوى الكرة الأرضية ككل. بمعنى آخر، فإن المقياس

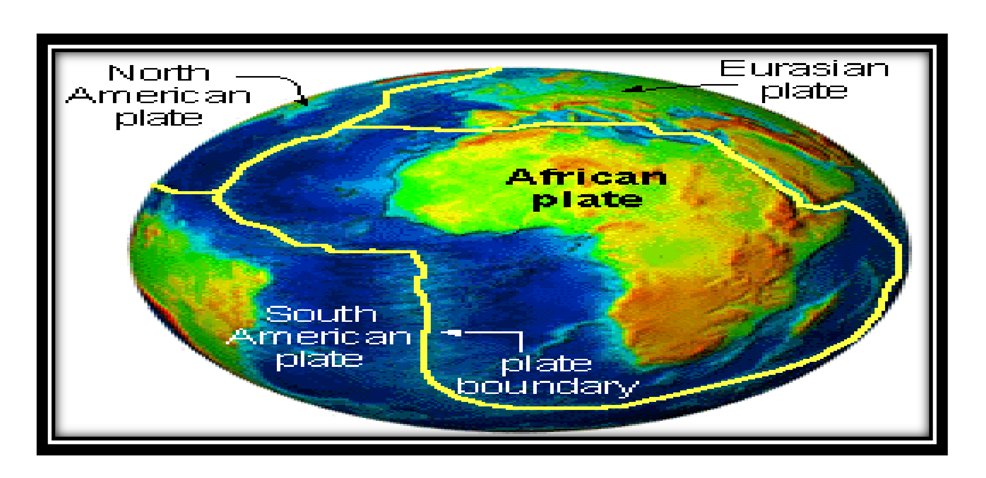
الزمني للمغناطيسية القديمة يطبق فقط على الصخور التي ترسبت فقط على قيعان المحيطات الحديثة. وفي الآونة الأخيرة ومع وجود أجهزة قياس المغناطيسية (مجنيتوميترات) على درجة عالية من الدقة والحساسية، يمكن تحديد أحداث المغناطيسية القديمة لكثير من التتابعات الطبقية في قيعان المحيطات، ومعايرة هذه الأحداث بتقديرات الأعمار المطلقة باستخدام المواد المشعة، حيث يمكن تحديد عمر الصخور التي لا تحتوي على حفريات مرشدة.

الفصل السادس عشر: تكتونية الألواح



حدثت ثورة فى العلوم الجيولوجية عندما عرف أن جغرافية الكرة الأرضية تتغير با ستمرار عبر الزمن . وعلى الرغم من أن **نظرية تكتونية الألواح** مازالت غير واضحة بدرجة كافية لدى الكثيرين ، إلا أن لتكتونية الألواح تأثيرا قويا على كل جوانب حياتنا . فمن المؤكد أن الزلازل والبراكين لا تتوزع بصورة عشوائية على سطح الأرض، وانما تحدث بالقرب من حواف الألواح . وعلاوة على ذلك، فإن هناك علاقة بين الألواح وطرق تكوين وتوزيع عديد من الرواسب المعدنية المهمة، مثل الخامات الفلزية. ولذلك يستخدم الجبولوجيون نظرية تكتونية الألواح فى تفسير تواجدات الرواسب المعروفة وفى البحث عن رواسب معدنية جديدة .

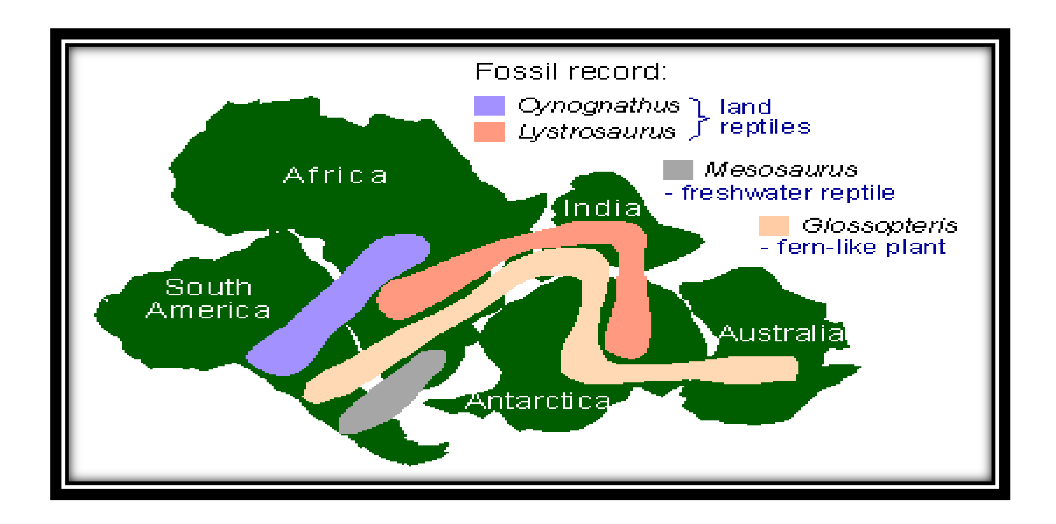
كما تشرح النظرية كيف تنشأ القارات وأحواض المحيطات وسلاسل الجبال ء والتى تؤثر على الغلاف الجوي للأرض ودورة الماء فى المحيطات اللتان تحددان وتؤثران بصورة أساسية فى مناخ الكرة الأرضية . ،ولذلك فقد أثرت حركة الألواح بصورة كبيرة على النوزيع الجغرافى للنباتات والحيوانات وتطورها وانقراضها .



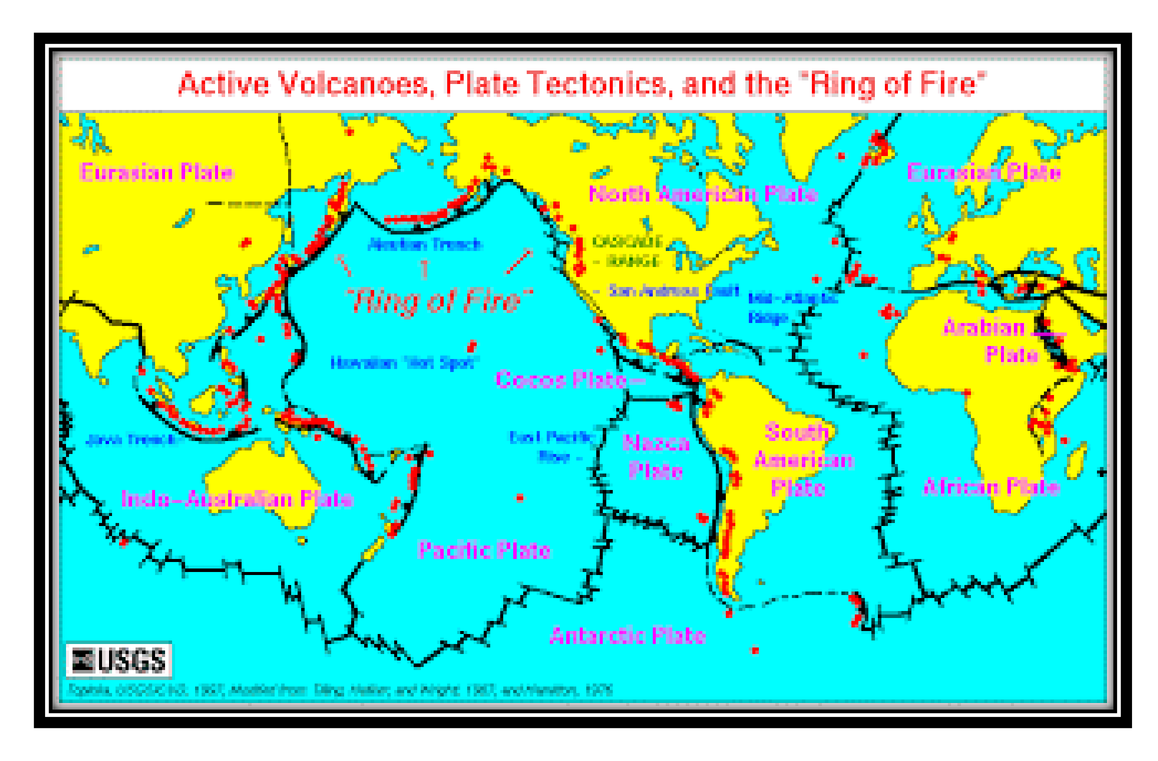
The African plate is composed of both oceanic (below Atlantic and Indian Oceans) and continental lithosphere (beneath Africa).

وفى الوقت الحال يمكن اعتبار نظرية تكتونية الألواح مقبولة عالميا تقريبا بين كافة الجيولوجيين. وقد أدى تطبيقها إلي فهم كيف تطورت الأرض منذ نشأتها وحتى الآن . وتفسر تلك النظرية الشاملة عديداً من الأحداث الجيولوجية التى يبدو أنه لا رابط بينها، مما سمح للجيولوجيين بالنظر إلي تلك الأحداث كجزء من عملية مستمرة أكثر منها سلسلة من الأحداث المنعزلة غير المترابطة .

وسوف نستعرض فى الأجزاء التالية الفرضيات المختلفة التى سبقت نظرية تكتونية الألواح، لشرح الدلائل التى أدت إل قبول البعض لفكرة حركة القارات والبعض الآخر لرفضها.

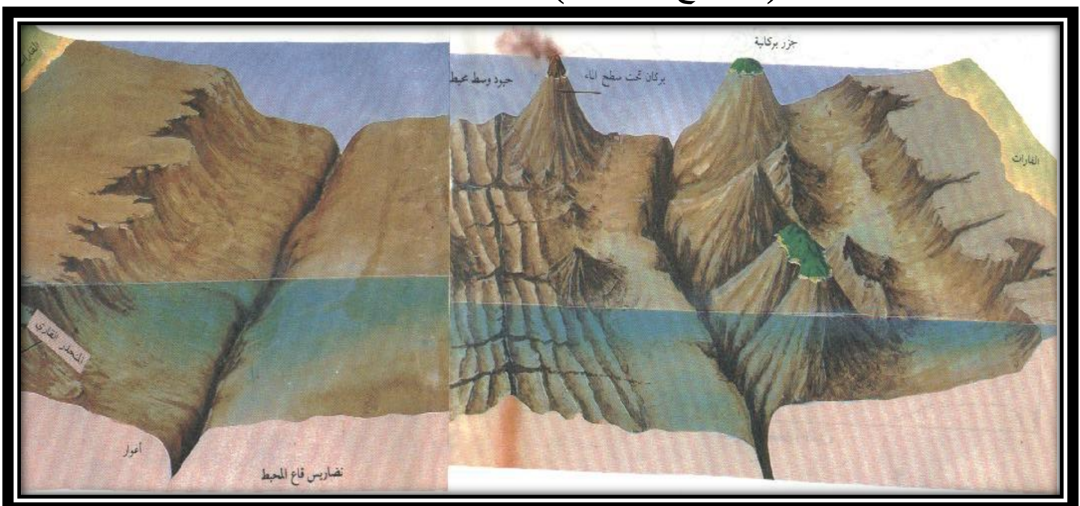


Distribution of key fossils between continents.



كان لإكتشاف سريان وأنبعاث درجة الحرارة العالية عند سلاسل جبال وسط المحيطات والتي تعرف بأسم سلاسل الجبال النشطة وتكوين الزلازل والبراكين قرب القارات ومناطق الضعف في المحيطات وكذلك أكتشاف عملية تمدد قيعان المحيطات وتجدد قشرتها التي تسمي (Sea floor spreading) أن ظهرت نظرية الألواح التكتونية.

<u>يتميز قاع المحيط</u> بقيمة كبيرة لسريان الحرارة وهو عكس ما كان متوقع . ولقد كان من المتوقع أن يكون لقاع المحيط كمية سريان حرارة أقل من تلك المميزة للقارات لإن صخور القشرة القارية بها عناصر مشعة أكثر بكثير مما في صخور القشرة المحيطية . ويعزي الحرارة الأرضية بالقشرة القارية إلي تحلل تلك العناصربينما فسرت الحرارة الناتجة من قاع المحيط علي أنها آتية من درقة الأرض (الوشاحmantle) .



<u>تعتمد هذة النظرية على مجموعة الأكتشافات العلمية التى تم أكتشافها حتى أوآخر الستينات وهى:</u>

١- طبوغرافية قاع المحيط.
٢- تمدد وأنتشار قاع المحيط.
٣ -الأنعكاسات المغناطيسية.
٤- نطاق بيني أوف.
٥- صدوع النقل.

<u>طبوغرافية قاع المحيط:</u>

كانت النظرة القديمة إلي قيعان المحيطات كمناطق شاسعة تنبثق منها أحيانا بعض الجزر البركانية وهي خاطئة.

<u>فلقد ثبت الدراسات الحديثة أن قيعان المحيطات تحتوى على:</u>

<u>١- حيود وسط المحيط</u>: Mid Ocean Ridges
سلاسل جبلية مرتفعة تقع في منتصف المحيط غالبا وتتصل بعضها البعض وتمتد في صورة أحزمة حول الأرض.

- **<u>ومن أهم مميزاتها:</u>**

١- ترتفع حوالي3 كم عن قاع المحيط ويصل عرضها إلي أكثر من 2000كم وطولها إلي 65000كم تقريبا.

٢-يوجد وادي عميق علي طول قمم هذة الحيود وينتج من أنفصام الحيد من منتصفة وتكوين وادي فلع ضيق rift نتيجة تأثير قوي شد أفقية علي محور الحيد .
٣-تحدث زلازل عند مركز الحيد وبطولة وتنتج من قوي الشد الأفقية التي تسبب وادي الفلع عند مركز الحيد.
٤-زيادة السريان الحراري جدا عند قمة الحيد نتيجة للنشاط المائي الحراري hydrothermal activityعند قمة الحيد.

أمثلة : حيد منتصف الأطلنطىMid Atlantic Ridge

يمتد من المحيط المتجمد الشمالي ويمر في منتصف المحيط الأطلنطي بطوله ثم يمر حول الطرف الجنوبي لقلرة أفريقيا متجها إلي المحيط الهندي حيث يتفرع ألي فرعين يمتد أحدهما شرقا ألي المنطقة الواقعة جنوب أستراليا حتي يصل ألي المحيط الهادي .أما الفرع الآخر فيمتد داخل المحيط الهندي حتي يصل إلي خليج عدن والبحر الأحمر .وبااطبع فإن الجزء الموجود في المحيط الأطلنطي من هذا الحيد هو المسمي 3 بحيد منتصف المحيط.

٢-الأخاديد المحيطية (الأغوار والخنادقOceanic Trenches:)

هي أحزاء منخفضة من قاع المحيط تجاويف عميقة تصل إلي عمق أكثر من 10 كم تحت سطح المحيط) وهذه التجاويف تكون عادة مقوسة.

•ومن أهم مميزاتها:

توجد عند بعض أطراف المحيطات بجوار القارات غالبا ويفصلها عن القارات أقواس الجزر (مجموعة جزر علي شكل قوس)حيث تحدث زلازل شديدة ونشاط بركاني.

مثال: الأخاديد المحيطية وأقواس الجزر التي تصاحبها الموجودة في إندونيسيا.
1.توجد عند هذه الأخاديد المحيطية قيم منخفضة للجاذبية الأرضية لأنها منخفضات عميقة مملوءة بالماء بدلا من الصخور(الكثافة النوعية للماء أقل من الصخور) .
2.تتميز بقيم منخفضة لسريان الحرارة الأرضية وذلك نتيجة حدوث سريان داخل الوشاح في إتجاه رأسي لأسفل تحت هذه الأخاديد علي عكس حيود منتصف المحيط حيث يكون السريان عندها رأسي لأعلي.

١- تمدد وإنتشار قاع المحيط:

تعتمد نظرية هاري هيس 1962,1961 H. Hess في تفسير تمدد وإنتشار قاع المحيط علي فكرة تيارات الحمل في وشاح الأرض convection currents (وتقول النظرية أن قاع المحيط يتكون من السربنتينيتserpentinite . وينتج عن االتأدرت الجزئي hydration للبيريدوتيت peridotite الذي يكون درقة الأرض (الوشاح .) .

يمثل حيد منتصف المحيط Mid Ocean Ridges مكان نشأة جزء جديد من قاع المحيط فهو مكان إرتفاع تيارات الحمل لأعلي حاملة مها مادة جديدة من وشاح الأرض إلي قاع المحيط .وينتشر قاع المحيط الجديد إنتشارا جانبيا علي ناحيتي حيد منتصف المحيط نتيجة اضافة جزء جديد من القشرة المحيطية علي ناحيتي الحيد.

مثل الأخاديد المحيطية Oceanic trenches أماكن هبوط تيارات الحمل لأسفل حاملة معها جزء من قاع المحيط(السربنتين .) وأثناء نزول القشرة المحيطية عند الأخاديد المحيطية إلي وشاح الأرض مع تيارات الحمل النازلة لأسفل يتم لصق جزء من رسوبيات قاع المحيط ألي حافة القارة حيث يتم تشوية هذه الرسوبيات تكتونيا وتحولها.

وتتغير طبقة السربنتينيت إلي بيريدوتيت عند العمق الذي تصل عنده درجة الحرارة إلي 500 درجة مئوية .وفي المناطق الموجودة أسفل هذا العمق يفقد السربنتينيت الماء ويصعد هذا الماء مع تيارات الحمل الصاعدة إلي أعلي.

عند حيد منتصف المحيط ليغير جزء من البيريدوتيت الصاعد لأعلي من الوشاح إلي هذا المكان إلي سربنتينيت ويهرب كذلك جزء من الماء ألي .ونظرا لأن تيارات الحمل تصعد لأعلي عند الحيد فيؤدى ذلك إلي زيادة كمية السريان الحراري في ذلك المكان أما القارات والكتل القارية فيتم حملها فوق وشاح الأرض (الأسثينوسفير) بفعل تيارات الحمل النازلة لأسفل.

المعدل الذي تتحرك بة تيارات الحمل (وبالتالي معدل حركة وإنتشار قاع المحيط) يبلغ حوالي ١-٢ سم في السنة ويدل ذلك علي أن قاع المحيط كلة يستبدل كل 300 - 200 مليون سنة .... ولذلك تعتبر القشرة المحيطية أحدث دائما من القشرة القارية . ويفسر ذلك أيضا السمك القليل للرواسب الموجودة علي قاع المحيط.

إن الرسوبيات الموجودة بالقرب من حيد منتصف المحيط تكون أحدث من تلك الموجودة عند مكان أبعد عن الحيد لأن الرسوبيات الأقدم تتحرك بعيدا عن الحيد نتيجة إنتشار قاع المحيط مع مرور الزمن.

٢- الا نعكاسات المغناطيسية:

دل المسح المغناطيسي لقلع المحيط علي وجود شذوذات في المغناطيسية الأرضية وتتكون هذه الشذوذات علي شكل أحزمة أو شرائط تسمي الأشرطة المغناطيسية . Magnetic Stripes وتمثل هذة الأشرطة شذوذات موجبة وسالبة متبادلة مع بعضها.

في عام 1963 قدم العالم مورلي تفسيرا مقنعا لأصل الأشرطة المغناطيسية التي تميز صخور القشرة المحيطية . ويعتمد تفسيره علي نظرية انعكاس الأستقطاب المغناطيسي ونظرية إنتشار قاع المحيط . وقد أعزي مورلي سبب هذه الشذوذات إلي الأختلاف في إتجاة مغناطيسية الصخور التي يمثلها كل شذوذ مغناطيسي .فالشذوذات الموجبة تكون لصخور لها أستقطاب عادي(أي مثل إتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض) أما الشذوذات السالبة فتكون لصخور لها أستقطاب مغناطيسي معكوس.

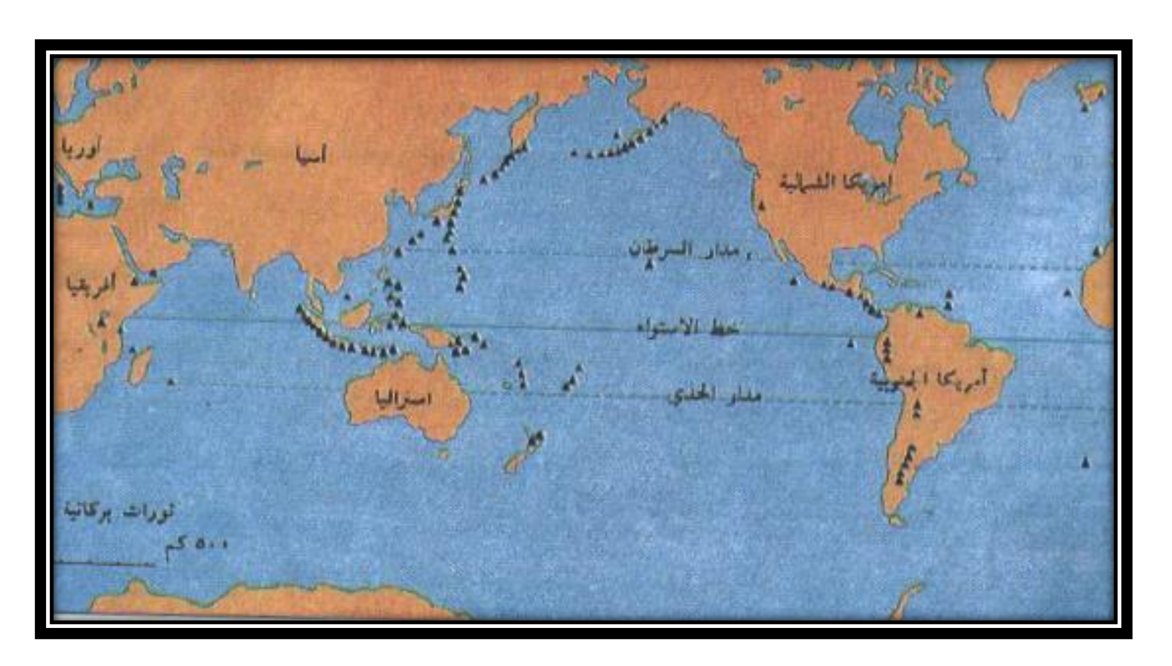
٣- نطاق بيني أوف:

فسر العالم بيني أوف) 1955 (بأن الزلازل تحدث في نطاق مائل عرضة 250 كم ويصل لعمق 700 - 650 كم ويمتد هذا النطاق تحت القارة أو أقواس الجزر ويميل ناحيتها وتتراوح زاوية الميل من 22 درجة 60 - درجة.

• <u>**ومن المعروف أن الزلازل تنقسم إلى ثلاثة أنواع من حيث العمق:**</u>

١ - زلازل ضحلة تنشأ عند عمق لايزيد عن 70 كم.
٢- زلازل متوسطة تنشأ عند عمق 300 - 70 كم.
٣-زلازل عميقة تنشأ عند عمق 700 - 300 كم.

ويوجد هنا علاقة بين أحزمة الزلازل وحدود الألواح التكتونية ويتبع توزيع الزلازل توزيع البراكين النشطة تقريبا.



اماكن توزيع الزلازل في العالم



القوى المحركة للألواح:Driving Mechanism

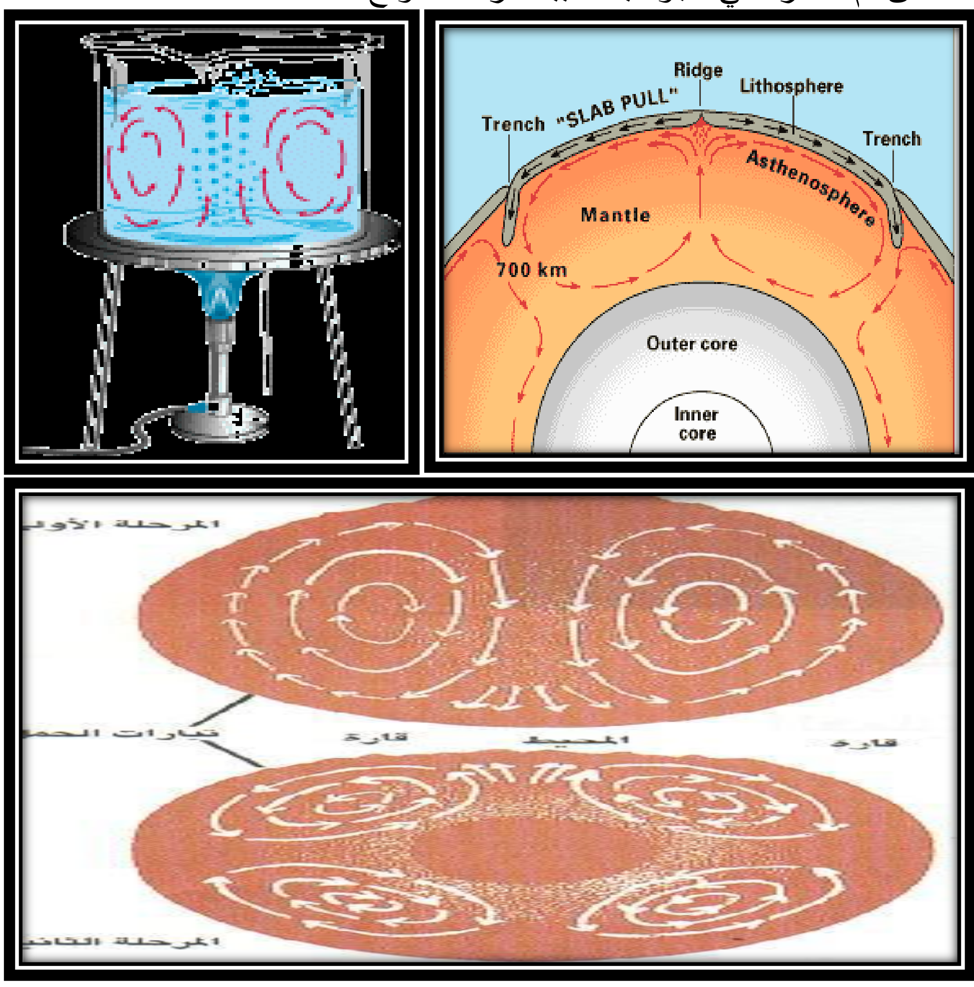
١- تيارات الحمل في الوشاح: Mantle convection

•تسبب تيارات الحمل حركة الألواح بعيدا عن محاور الإنتشار ونزولها في نطاق الابتلاع .
وقد أثبتت قياسات سريان الحرارة الأرضية ذلك حيث وجد أن معدل سريان الحرارة مرتفع جدا عند محاور الإنتشار حيث ترتفع تيارات الحمل ، بينما يقل معدل سريان الحرارة عند نطاقات الابتلاع حيث تنزل تيارات الحمل لأسفل.

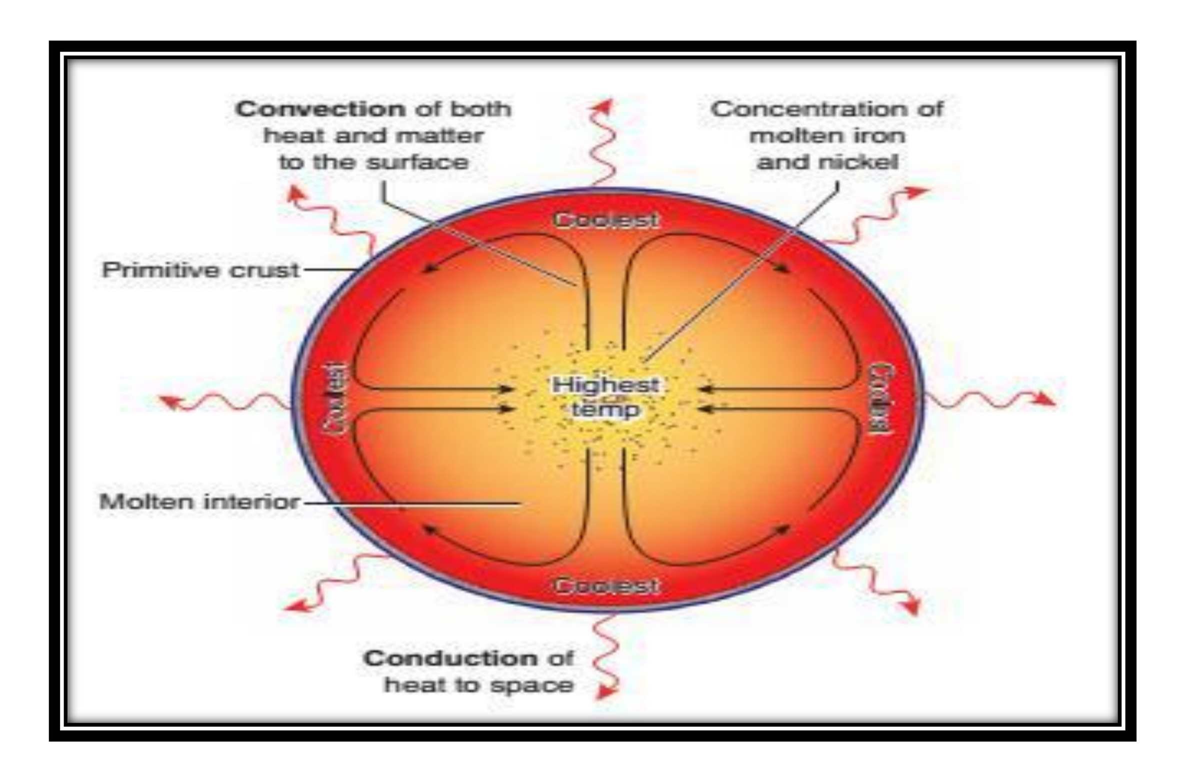
٢- قوي الجذب الأرضية:

ويتم ذلك عن طريق جذب اللوح تحت نطاق الأبتلاع حيث أن قوي الجاذبية الأرضية تشد اللوح المبتلع داخل نطاق الابتلاع مما يؤدي إلي جذب هذا الجزء للجزء الأخر من اللوح الموجود خارج نطاق الابتلاع ولم يلقي أستخدام قوي الجاذبية الأرضية لتفسير حركة الألواح تأييدا كبيرا.

سبب الحركة : التوزيع غير المتساوي للحرارة في الأرض حيث ترتفع المواد الساخنة من الأعماق ثم تنتشر علي الجوانب مسببة حركة الألواح.



تيارات الحمل وبناء القارات.



انتقال حجبرات الحمل الحراري الي السطح

الادلة على حدوث الحركات الارضية:

١- وجود احافير بحرية فى قمم الجبال.
٢- وجود غابات مغمورة تحت سطح الماء.

انجراف القارات:

- من النظريات التي وضعت لتفسير تكون الظواهر السطحية (الاحواض المحيطية و القارات) نظرية الانجراف القاري و بتطور العلم ظهرت نظرية الصفائح التكتونية بناء على الافكار العامة للنظرية توصل الجيولوجيون الى اسباب حدوث الزلازل و البراكين و احزمة الجبال كما تمكننا من فهم افضل لتوزيع النباتات و الحيوانان في العصور القديمة و توزيع الرواسب المعدنية ذات الاهمية الاقتصادية. قديما اعتقد العلماء ان الاحواض و القارات ثابت لا يتغير و لكن قام الفريد فيجنر بتقديم اقتراح يسمى الانجراف القاري و لكنها لم تقابل استحسانا عاما ، بالرغم من الادلة التي قدمها فيجنر

- الانجراف القارى فكرة سابقة لعصرها :

طرح العالم الفريد فيجنر فكرتة عن فرضية الانجراف القاري و اقترح وجود قارة عظمي (ام القارات) سماها بانجايا و افترض انه منذ ٢٠٠ مليون سنة بدات هذه القاراة العظمى في التفتت الى قارات اصغر اخذت فى الانجراف لتصل الى مواقعها الحالية.

نظرية الانجراف القارى:

- وضع هذة النظرية العالم الفريد فاجنر و هى تنص على ان الارض فى بدايتها كانت مكونة من قارة واحدة (بانجايا) محاطة بمحيط واحد ، هذة القارة انقسمت الى قارتين اصغر لوراسيا (التى انقسمت الى اوروبا و اسيا و امريكا الشمالية) و جوندوانا (والتى انقسمت الى امريكا الجنوبية و افريقيا وشبه الجزيرة العربية و مدغشقر و الهند و استراليا) يفصل بينهم البحرالمتوسط القديم.

ادلة الانجراف القارى:

١-التطابق الهندسي لحواف القارات الخارجية المتقابلة : لو اخذت خريطة العالم و قمت بقص القارات و قربت القارات من بعضها لوجدت توافقا ، هذا التوافق يصبح مدهشا لو قمت اصلا بقص القارات عند حدود الرف القاري للتغلب على تاثير التعرية و الترسيب الذي حدث على مر السنين (مثال : تقابق الحدود القربية لقارة افريقيا و الحدود الشرقية لقارة اميركا الجنوبية

٢- دليل التطابق للاحافير عبر المحيطات : اكتشف تطابق لاحافير كائنات موجودة في صخور كل من اميركا الجنوبية و افريقيا (مثال : وجود احافير الميزوسورس متطابقة في كتل ارضية متباعدة بعضها عن بعض هذا يدل على انه لابد من انه كان هناك اتصال بين الكتل الارضية).

ادلة من المناخ القديم : تتلخص في و جود طبقات رسوبية تدل على بيئة معتدلة او استوائية في مناطق قطبية ، يدل ذالك على ان المنطقة كانت تقع في الماضي في الحزام الدفئ و على انها انجرفت فيما بعد باتجاه المنطقة الباردة.

٤- تطابق انواع الصخور و اعمارها و التركيب للحواف القارية المتقابلة : و جد فيجنر دليلا مكون من الصخور القديمة التي يبلغ عمرها ٢,٢ مليار سنة في البرازيل و مشابهة جدا للصخور في افريقيا.

٥- تطابق الاقطاب المغناطيسية.

٦**- وجود سلاسل جبال فى قيعان البحار والمحيطات مما يدل على حدوث حركة انفراجية.**

. الأفكار الأولى عن الانجراف القارى:

لقد كان معروفا منذ أمد بعيد أن جغرافية الأرض تتغير عبر الزمان . فقد لاحظ سير فرانسيس بيكون Sir Francis Bacon عام ١٦٢٠ م التشابه الكبير بين خطوط الشواطئ الغربية لأفريقيا وخطوط الشواطئ الشرقية لأمريكا الجنوبية. إلا أن بيكون لم يجد أى علاقة بين القارات القديمة والحديثة، وأن تلك القارات ربما كانت محتلفة فى الماضي . وفى عام ١٨٠١ م لاحظ الكسندر

فون همبولت الملاحظة نفسها ، ولكنه أرجح ذلك التشابه إلي التعرية على امتداد وادى كبير، ولم يرجعها إل تكسر قارة أكبر.

كما ذكر انطونيو سنيدر بليجرينى Antonio Snider – Pellegrini- 1858م فى كتابه (الخلق وأسراره) وهو أحد المراجع الأولى عن الانجراف القارى، أن كل القارات كانت متصلة مع بعضها خلال عصر البنسلفانى (العصر الكربونى المتأخر) ثم انفصلت بعد ذلك . وقد بنى اعتقاده هذا اعتمادا على التشابه بين الحفريات النباتية فى طبقات الفحم من زمن البنسلفانى فى أوروبا وأمريكا الشمالية . وقد عزى سنيدر انفصال القارات إلي طوفان توراتى .

وفى نهاية القرن التا سع عشر لاحظ الجيولوجى النمساوى إدوارد سويس Edward Suess التشابه بين الحفريات النباتية لحقب الحياة القديمة (الباليوزوى) المتأخر فى الهند واستراليا وأفريقيا وأنتاركتيكا وأمريكا الجنوبية، علاوة على الدليل على التثلج فى تتابعات الصخور الموجودة فى تلك القارات . وفى عام ١٨٨٥ م اقترح سويس اسم أرض الجندوانا Gondwanaland (أو جندوانا Gondwana كما تسمى أحيانا) لقارة عظمى مكونة من كل القارات الجنوبية . وجندوانا هو إقليم يقع فى شرقى الهند حيث وجدت أدلة على حدوث تثلج يغطى منطقة واسعة، بالإضافة إلى وفرة حفريات الجلوسوبتيريس Glossopteris النباتية . وقد اعتقد سويس أن توزيع الحفريات النباتية والرواسب الثلجية يرجع إلى وجود جسور ممتدة تصل بين القارات ثم غرقت بعد ذلك تحت المحيطات .

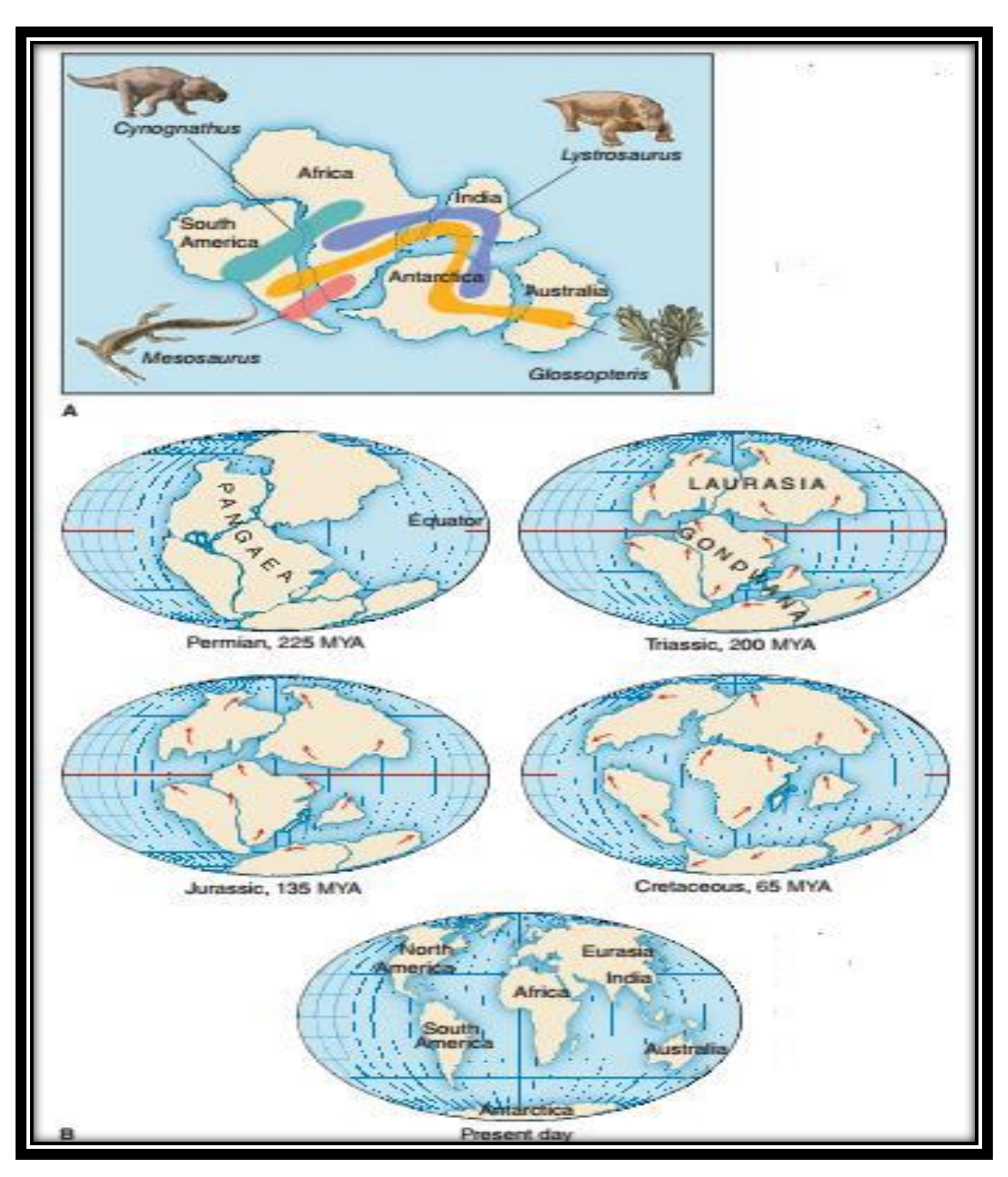
وفى عام ١٩١٠ م نشر الجيولوجى الأمريكى فرانك تيلور Frank B. Taylor بحثا قدم فيه نظريته الخاصة عن الانجراف القارى، وذكر فيه أن تكون سلاسل الجبال يكون نتيجة للحركة الجانبية للقارات . كما اعتبر تايلور القارات الحالية أجزاء من قارات قطبية أكبر تكسرت فى النهاية وهاجرت نحو خط الاستواء بعد أن بطأت الكرة الأرضية من دورانها نتيجة لقوى مد وجزر هائلة . وقد افترض تيلور أن قوى المد والجزر قد نشأت منذ حوالى ١٠٠ مليون سنة فقط.

وعلى الرغم من معرفتنا أن الميكانيكية التى اقترحها تيلور غير صحيحة، إلا أن أحد أهم مساهماته كان اقتراحه أن حيود وسط الأطلنطى Mid – Atlantic Ridge والتى اكتشفتها البعثات البريطانية خلال الفترة ١٨٧٢ - ١٨٧٦ م، ربما يحدد الموقع الذى انفصلت على امتداده قارة قديمة لتكون المحيط الأطلطى الحالى .

. فرضية الانجراف القارى:

يرجح الفضل عموما فى تطور فرضية الانجراف القارى continental drift إلي عالم الأرصاد الجوية ألفريد فاجنر Alfred Wegener. ففى عام ١٩١٢ م قدم فاجنر أفكاره الأول عن القارات المتحركة . وقد اقترح فاجنر فى كتابه المنشور عام ١٩١٥ م بعنوان (أصل القارات والمحيطات) أن كل الكتل الأرضية كانت متحدة أصلا فى قارة عظمى واحدة أسماها بانجيا Pangaea (القارة الأم) . وقد أوضح فاجنر مفهومه عن تحرك القارات فى سلسلة من الخرائط

توضح انفصال البانجيا قبل حوالى ٢٠٠ مليون سنة، وتحرك القارات المختلفة إل مواقعها الحالية . وقد جمع فاجنر كمية هائلة من الأدلة الجيولوجية والحفرية والمناخية لدعم فرضية الانجراف القارى . وقد كان رد فعل العلماء الأولى لأفكاره متباينا . حيث عارضها كثير من العلماء وخاصة فى أمريكا الشمالية، بينما جاءه بعض التأييد من علماء آخرين. وقد كانت العقبة الأساسية لقبول فرضية الانجراف القارى هى تفسير الميكانيكية التى تحركت بها قارات مكونة أساسا من الصخور الجرانيتية فوق قشرة محيطية بازلتية ذات كثافة أعلى .



يمكن تقريب القارات ودمج احداها مع الأخرى مكونة كتلة قارية ضخمة هي القارة الام. توزيع المتحجرات الحيوانية والنياتية يدعم فكرة قارة عظمي واحدة المسماة بانجيا.

ومع ذلك فقد طور الجيولوجى البارز من جنوب أفريقيا الكسندر دي توا Alexander du toit البراهين التى قدمها فاجنر، وجمح المزيد من الأدلة الجيولوجية والحفرية لدعم الانجراف القارى . وفى عام ١٩٣٧ م نشر دى توا كتابه باسم (قارتنا المتجولة) ، حيث قارن رواسب الجليد فى قارة الجندوانا برواسب الفحم الموجودة فى صخور من العمر نفسه فى قارات النصف الشمالي للكرة الأرضية. ولكى يحل هذه الإشكالية، حرك دى توا قارات اجندوانا إلي القطب الجنوبى وجمع القارات الشمالية الموجود بها رواسب الفحم مع بعضها عند خط الا ستواء. وسمى هذه الكتل الشمالية لوراسيا Laurasis وهى تشمل أمريكا الشمالية وجرينلاند وأوروبا وآسيا الحالية (باستثناء الهند).

وعلى الرغم من هذه الأدلة والبراهين، إلا أن معظم الجيولوجيين استمروا فى معارضتهم وعدم قبولهم لفكرة تحرك القارات. وقد استمر الوضع على ما هو عليه حتى عام ١٩٦٠ م حينما قدمت بحوث علم المحيطات أدلة مقنعة أن القارات كانت متصلة يوما ما ثم انفصلت لاحقا ، مما أدى آخر الأمر إلي قبول واسع لفرضية الانجراف القارى .

. دلائل الانجراف القارى:

لقد كان فاجنر مأخوذا بالتشابه بين خطوط شواطئ القارات على جانبى المحيط الأطلنطى، خاصة بين أمريكا الجنوبية وأفريقيا ، مثل من سبقه من العلماء . وقد أوضح فاجنر أن ذلك التشابه هو دليل على أن القارات كانت متصلة يوما ما كقارة عظمى ، ثم انشطرت لاحقا . وقد لقيت محاولة فاجنر لإعادة تركيب جانبى المحيط الأطلنطى اعتمادا على تشابه الشواطئ الحالية معارضة من العلماء، نظرا للتغير الدائم لخطوط الشواطئ نتيجة التعرية والترسيب . لذلك فلو أن القارات قد انفصلت خلال حقب الحياة الوسطى (الميزوزى) كما اقترح فاجنر فإن خطوط الشواطئ الحالية لها لن تتطابق تماما على بعضها.

وقد كان من المنطقي أن تتم مطابقة القارات مح بعضها على امتداد المنحدر القارى continental حيث تقل التعرية إلي أقصى درجة. ويجب ملاحظة أن الحافة الحقيقية للقارة تكون تحت المنحدر القارى حيث تتغير القشرة القارية إلي قشرة محيطية. وفى عام ١٩٦٥ م قام سير إدوارد بولارد Sir Edward Bullard الإنجليزى واثنان من مرافقيه برسم خريطة باستخدام الحاسوب (الكمبيوتر)، تم فيها مطابقة القارات عند عمق٢٠٠٠ متر عند حواف المنحدرات القارية.

أ. التشابه بين التتابعات الصخرية وسلاسل الجبال:

إذا كانت القارات قد اتصلت ببعضها يوما ما، فإنه من المتوقع أن تتماثل الصخور وسلاسل الجبال التى تتبح نفس العمر فى المناطق المتقابلة على القارات المتباعدة إلي حد بعيد . وهذا هو الحال فى قارة الجندوانا. حيث تتماثل تقريبا تتابعات الصخور البحرية وغير البحرية والجليدية

التى تتبع البنسلفانى (التابع للعصر الكربوني المتأخر) إل الجوارسي، فى كل قارات اجندوانا الخمس، مما يشير إلي أن تلك القارات كانت ملتحمة ببعضها يوما ما.

ويدعم اتجاه عديد من سلاسل الجبال الرئيسية فوضية الانجراف القارى، حيث تنتهى هذه السلاسل من الجبال ظاهريا عند خط الشاطئ لقارة ما لتستمر ظاهريا فى قارة أخرى عبر المحيط . فمثلا تتجه جبال الأبا لاش فى أمريكا الشمالية فى اتجاه الشمال الشرقى فى شرق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، ثم تنتهى فجأة عند شاطئ نيوفوندلاند. وتوجد سلاسل جبال تتبع العمر نفسه ولها نظام الطى نفسه فى شرق جرينلاند وأيرلندا وبريطانيا والنرويج . وعلى الرغم من أن المحيط الأطلنطى يفصل بين تلك السلاسل الجبلية، إلا أنها تكون سلسلة جبال مستمرة، حينما يعاد وضع تلك القارات بجانب بعضها البعض.

ب. دليل من المثالج:

لقد غطت مثالج glaciers ضخمة مساحات قارية كبيرة فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى فى حقب الحياة القديمة (الباليوزوى) المتأخر . ويدل على حدوث تلك المثالج وجود طبقات من الحريث till (وهى رواسب كونتها المثالج)، بالاضافة إلى الحزوز الجليدية الموجودة فى صخر الأساس الذى يسفل رواسب الحريث . وتدل الحفريات والصخور الرسوبية التى تتبع العمر نفسه فى نصف الكرة الأرضية الشمالي على عدم وجود أي أدلة على التثلج، وإنما تدل الحفريات النباتية فى الفحم على أن مناخ نصف الكرة الشمالى كان مناخا مداريا خلال الزمن نفسه الذي سادت فيه المثالج فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى.

وتقع اليوم كل قارات الجندوانا ما عدا القارة القطبية الجنوبية (الأنتاركتيكا) بالقرب من خط الاستواء ، حيث يسود بها مناخ مدارى إلي شبه مدارى. وتدل الخر ائط التى رسمت للحزوز الجليديةglacial striations فى صخور الأساس فى أستراليا والهند وأمريكا الجنوبية أن المثالج تحوكت من المحيطات الي داخل اليابسة. ويبدوا أن هذا التفسير بعيد الاحتمال، حيث إن المثالج القارية الكبيرة تنساب من مناطق التجمع المركزية إلي الخارج ناحية البحر .

فإذا لم تكن القارات قد تحركت فى الماضي، فإن ذلك يستوجب أن نفسر كيف تحركت المثالج من المحيطات إلي الأرض، وكيف تكونت مثالج قارية على مساحات شاسعة بالقرب من خط الاستواء . ولكن إذا أعيد تجميع القارات فى كتلة واحدة بحيث يكون جنوب أفريقيا عند القطب الجنوبى، فإن اتجاه حركة المثالج القارية فى حقب الحياة القديمة المتأخر يمكن تفسيرها . وعلاوة على ذلك فإن هذا الترتيب الجغرافى يضع القارات الشمالية فى قارة واحدة هى قارة لوراسيا Laurasis بالقرب من المنطقة المدارية، مما يفسر وجود الحفريات النباتية فى الفحم.

ج . أدلة من الحفريات:

تأتى بعض الأدلة القوية على فرضية الانجراف القارى من السجل الحفرى . فتوجد حفريات من فلورة جلوسوبتيريس Glossopteris النباتية فى رواسب الفحم من عمر البنسلفانى (الكربونى المتأخر) والبرمى على قارات الجندوانا الخمس . وعلى الرغم من أن حبوب اللقاح والأبوغ spores تنتشر لمسافات واسعة بالرياح، إلا أن نباتات الجلوسوبتيريس كانت تنتج حبوب لقاح كبيرة لدرجة يصعب نقلها بالرياح . وعلى فرض أن تلك الحبوب انتقلت عبر المحيطات، فإنه من المحتمل ألا تبقى قادرة على الحياة والنمو فى المياه المالحة لأى فترة زمنية.

وحيث إن المناخ الحالي للكتل القارية التى كانت تكون الجندوانا، والتى تشمل أمريكا الجنوبية وأفريقيا والهند واستراليا والقارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا)، يتنوع تنوعا شديدا ويتراوح بين المناخ المدارى فى القارات الاستوائية إلي المناخ القطبى فى القارة القطبية الجنوبية، فقد اقترح فاجنر أن هذه القارات لابد أنها كانت ملتحمة، بحيث إن تلك المناطق المنفصلة والبعيدة عن بعضها حاليا كانت تقع كلها فى يوم ما على حزام مناخى واحد.

كما تقدم أيضا الحفريات الحيوانية دليلا قويا على الانجراف القارى . ويمثل جنس ميز وسورمى Mesosaurus وهو من زواحف الماء العذب التى تتواجد حفرياتها فى صخور العصر البرمى فى مناطق محددة فى البرازيل وجنوب أفريقيا فقط ولا يوجد فى مناطق أخرى من العالم . ونظرا للاختلاف البين فى فسيولوجية حيوانات المياه العذبة عن فسيولوجية حيوانات المياه المالحة، فإنه من الصعب تخيل كيف يعوم زاحف ماء عذب عبر المحيط الأطلنطى ليجد بيئة ماء عذب أخرى مشابهة تقريبا لبيئته الأصلية. وعلاوة على ذلك، وبافتراض أن الميزوسورس قد عبر المحيط

الأطلنطى فإن بقاياه يجب أن تكون منتشرة فى صخور قاع هذا المحيط . وحيث إن قاع المحيط الأطلنطى لا يحتوى على أى بقايا للميزوسورس، فإنه من المنطقى افتراض أن الميزوسورس قد عاش فى المناطق المتقابلة حاليا من قارتى أمريكا الجنوبية وأفريقيا ، وأن هاتين القارتين كانتا متحدتين فى قارة واحدة.

واستمرت حالة عدم القبول هذه حتى أثبتت الأدلة الجديدة من دراسة المجال المغناطيسى للأرض وبحوث علوم البحار أن أحواض المحيطات حديثة العمر (أقل من ٢٠٠ مليون سنة)، مما أدى إلي عودة الاهتمام للانجراف القارى مرة ثانية .

د. المغناطيسية القديمة والتجوال القطبى:

لقد أتت بعض أهم الأدلة المؤيدة للانجراف القارى من دراسة المغناطيسية القديمة للأرض . فقد درس بعض الجيولوجيين فى أوائل الخمسينيات من القرن العشرين التغيرات التى حدثت فى الماضي للمجال المغناطيسى للأرض، من أجل الوصول لفهم أفضل للمجال المغناطيسى الحال . وتد أدت تلك الدراسة وكما يحدث عادة فى العلم إلي اكتشافات أخرى مهمة منها أن أحواض

المحيطات هى معالم أرضية حديثة جيولوجيا، وأن القارات قد تحركت فعلا فى الماضي كما اقترح فاجنر والباحثون الآخرون.

وكما سبق أن أوضحنا فإن موقع القطبين المغناطيبين للأرض يقابلان تقريبا موقع القطبين الجغرافيين لأرض . وعندما تبرد الصهارة فإن المعادن الحاوية للحديد ترتب نفسها فى اتجاه المجال المغناطيسى للأرض، عندما تصل تلك المعادن إل نقطة كورى Curie point. ونقطة كورى هى الحرارة التى لا يستطيع المعدن الاحتفاظ بأية مغناطيسية دائمة فوقها. هكذا يتم تسجيل كل من اتجاه وشدة المجال المغناطيسى للأرض . ويمكن استخدام تلك المعلومة فى تحديد موقع قطبى الأرض المغناطيسيان وخط العرض الذى تواجد عنده الصخر أثناء تكوينه.

وقد أظهرت الدراسات التى قام بها الجيوفيزياثى رنكورن S.K. Runcorn والعاملون معه أن موقع القطب المغناطيس القديم والذى حدد من المغناطيسية القديمة فى طفوح اللابة ذات الأعمار المختلفة بأوروبا، قد تغير كثيرا . فقد وجدوا أنه خلال٥٠٠ مليون سنة مضت قد تحرك القطب الشمالي من المحيط الهادي عبر شرق فشمال آسيا حتى وصل إل موتعه الحالى ٠ بالقرب من القطب الشمالي الجغرافى للأرض . ويمكن تفسير هذا الدليل من المغناطيسية القديمة بثلاث طرق:

الأول: أن قارة أوروبا بقيت ثابتة فى مكانها وأن القطب المغناطيسى الشمالى هو الذى تحرك.
والثانية : أن القطب المغناطيس الشمالى كان ثابتا وأن قارة أوروبا هى التى تحركت.
أما الطريقة الثا لثة: فتفترض أن كلا من قارة أوروبا والقطب الشمالى المغناطيسي قد تحركا .

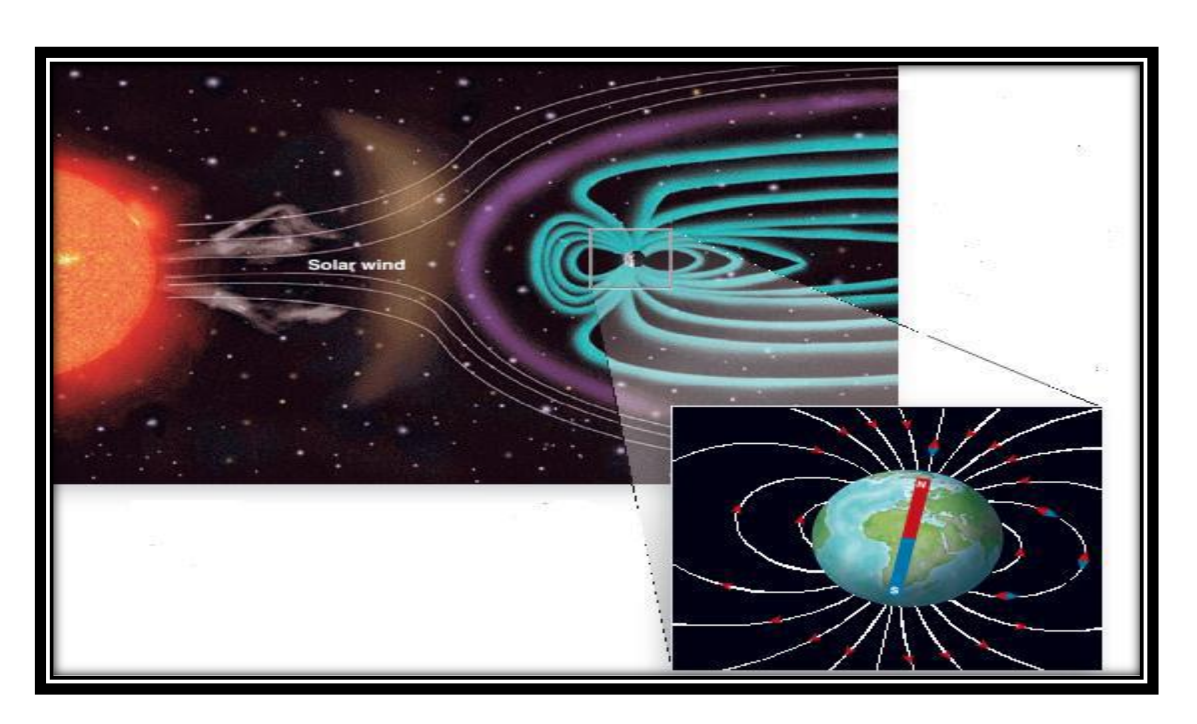
وعندما تم إسقاط قراءات المغناطيسية القديمة والتى قيست من طفوح لابة عديدة محتلفة الأعمار فى شمال أمريكا على خريطة، أشارت تلك القراءات إلى مواقع محتلفة للقطب المغناطيسى الشمالى، تختلف عن تلك التى سجلتها طفوح من العمر نفسه فى أوروبا . وعلاوة على ذلك فقد أشارت تحاليل طفوح اللابة من كل القارات إلى أن كل قارة لها سلسلة خاصة من الأقطاب المغناطيسية. هل يعنى ذلك أن كل قارة لها قطب شمالى محتلف؟ يصعب قبول هذا التفسيرفى ظل قوانين الفيزياء التى نعرفها عن كيفية نشأة المجال المغناطيسى للأرض .

ولذلك فإن التفسير الأفضل لتجوال الأقطاب المغناطيسية polar wandering ظافريا هو أنها بقيت فى مواقعها الحالية بالقرب من الأقطاب الجغرافية، وأن القارات هى التى تحركت . وعندما يتم تجميع القارات فى كتلة واحدة ومطابقة القارات مح بعضها بحيث أن التسجيلات المغناطيسية القديمة تشير إلي قطب شمالي واحد، فإننا نجد كما فعل فاجنر، أن تتابعات الصخور وسلاسل الجبال والرواسب الجليدية تتما ثل وتتناظر، وأن الدليل الحفرى والمناخى يكون متفقا مح الجغرافية القديمة التى تم إعادة بنائها .

الانعكاسات المغناطيسية: تجمعت أدلة عديدة منذ أوائل الخمسينات من القرن العشرين لتثبت أن المجال المغناطيسى للأرض قد عكس قطبيته، أى اتجاهه ، دوريا فى الماضي . ويعرف مثل هذا

التغير فى الاستقطاب من الاتجاه العادى إلي الاتجاه المعكوس بالانعكاس المغناطيس magnetic reversal. وفى أثناء زمن القطبية العادية تترك الخطوط المغناطيسية الأرض بالقرب من القطب الجنوبى الجغرافى ، ثم تدخل إليها مرة أخرى بالقرب من القطب الشمالي الجغرافى. ويعرف هذا الاتجاه بالقطبية العادية، حيث إنه يماثل اتجاه القطبية الحالية . بينما تتحرك خطوط المغناطيسية فى اتجاه عكسى أثناء القطبية المعكوسة reversed polarity، حيث تترك الارض بالقرب من القطب الشمالي، ثم تدخلها مرة أخرى بالقرب من القطب الجنوبى . وبمعنى آخر، فإن القطبين المغناطيسيين الشمالي والجنوبى يتبادلان مو اقعهما أثناء الانعكاس المغناطيسى . وكما سبق أن ذكرنا، فإن عديدا من الصخور يحتوى على سجل لشدة واتجاه المجال المغناطيس للأرض أثناء تكون الصخور .

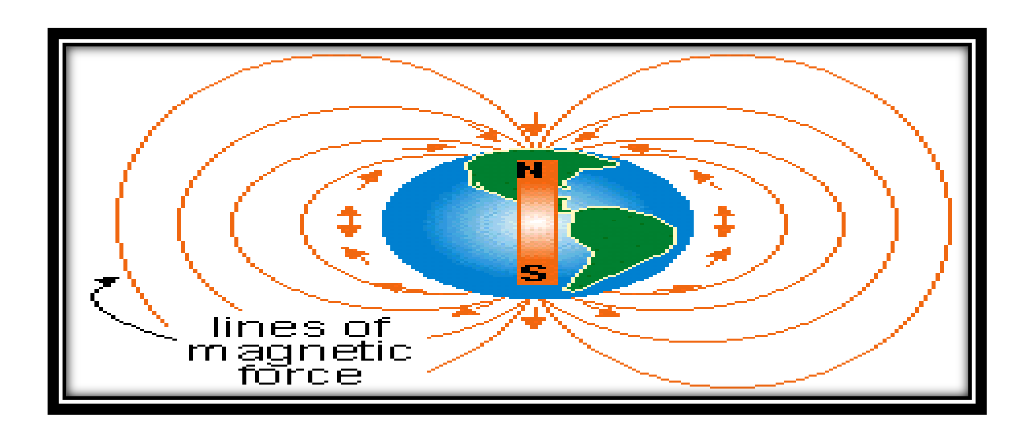
وتأتى معظم الأدلة على الانعكاسات المغناطيسية من طفوح اللابة على القارات. وتظهر دراسة المغناطيسية القديمة فى تنابح من طفوح اللابة، أن اتجاه المجال المغناطيسى بها كان عكس اتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض . ويعنى ذلك، أن الأقطاب المغناطيسية للأرض قد عكست مواقعها، أثناء الزمن الذى بردت فيه اللابة، بمعنى أن إبرة البوصلة كانت تشير ناحية الجنوب بدلا من الشمال. ويوجد عديد من فترات المغناطيسية العادية والمعكوسة مسجلاً فى طفوح اللابة، وهى أحداث تسجل على مستوى العالم . وحيث إنه يمكن تحديد عمر طفوح اللابة باستخدام النظائر المشعة ، فإنه يمكن تحديد عمر هذه الانعكاسات . ويرجح عديد من الدراسات أن المجال المغناطيسى للأرض ينعكس كل نصف مليون سنة تقريبا .



المجال المغناطيسي الارضي

ولكن ما سبب الانعكاسات المغناطيية؟.

بالطبع فإن الإجابة عن هذا السؤال ليست سهلة، حيث إنه لا يعرف كيف نشأ المجال المغناطيسى للأرض . وتعضد الدراسات الحديثة فرضية أن المجال المغناطيسى للأرض قد نشأ من تيارات حمل فى اللب الخارجى السائل للأرض، وربما يحدث الانعكاس فى المجال المغنا طيسي حينما تغير تيارات الحمل اتجاهها. بينما يعتقد بعض الجيولوجيين أن الانعكاسات ربما تحدث نتيجة اصطدام كويكب أو مذنب بالأرض . ولهذا لا يوجد اتفاق حتى الآن بين الجيولوجيين على سبب هذه الانعكاسات المغناطيسية .



The inclination of the Earth's magneticfield varies with latitude.

. انتشار قيعان المحيطات:

بالإضافة إلي أبحاث المغناطيسية القديمة فى خمسينات القرن العشرين، فقد أدى الاهتمام ببحوث علوم البحار إلي عمل خرائط شاملة لأحواض المحيطات فى العالم. وقد أظهرت تلك الخرائط أن قيعان المحيطات تحتوى على أهم المرتفعات الجبلية على الأرض، والتى تعرف بحيود وسط المحيط، وأن حيود وسط الأطلنطي Mid – Atlantic Ridge هى جزء من نظام للحيود منتشر على مستوى الكرة الأرفية ككل ء حيث يبلغ طوله أكثر من ٦٥٠٠٠ كم. ويتراوح عرض حيود وسط المحيط بين ٥٠٠ كم و ٥٠٠٠ كم، حيث تشغل نصف مساحة قاع المحيط فى بعض الأماكن . وتختلف حيود قاع المحيط عن الجبال فوق القارات، والتى تتكون من تتابع من الصخور الرسوبية المتحولة والمقطوعة بصدوع، بينما تتكون الحيود المحيطية من تتابع من طبقات البازلت التى تم رفعها وقطعها بالصدوع . كما ثبت أيضا أن الحيود المحيطية تتميز بجريان حرارى heat flow عال ونشاط زلزال ونشاط بركانى بازلتى، يقع على امتداد منطقة ضيقة توجد مركزيا عند قمة تلك الحيود وتعرف بنطاقات الخسف rift zones كما توجد الانعكاسات المغناطيسية وكذلك عمر الرواسب البحرية العميقة الموجوذة فوق القشرة المحيطية مباش رة فى نمط مميز بالنسبة للحيود المحيطية.

وقد كثف هارى هيس Harry Hess بحوثه فى المحيط الهادى أثناء خدمته فى الحرب العالمية الثانية، حيث اكتشف الجيوتات guyots (جزر بركانية مسطحة القمة مغمورة تحت سطح البحر) والتى أمدت الجيولوجيين بدليل آخر على حركة قاع المحيط بعيداً عن حيود وسط المحيط .

وقد نشر هيس اكتشافه للجيوت ونتائج دراساته الأخرى فى بحث مهم عام ١٩٦٢ م اقترح فيه فرضية انتشار قيعان المحيطات seafloor spreading كما شرح نيه أيضا التحرك القارى . وقد اقترح هيس أن القارات لا تتحرك عبر القشرة المحيطية أو خلالها، بل إن كلا من القارات والقشرة المحيطية يتحركان سويا وأنهما جزء من ألواح كبيرة . وطبقاً لفرضية هيس، فإن القشرة المحيطية تنفصل عند حيود وسط المحيط حيث تتكون قشرة محيطية جديدة من الصهارة الصاعدة . وعندما تبرد الصهارة، فان القشرة المحيطية المتكونة حديثأ تتحرك جانبيا بعيداً عن الحيود . وهكذا يمكن شرح كيف أن الجزر البركانية المتكونة عند قمم الحيود أو بالقرب منها أصبحت فيما بعد جيوتات .

وقد أحيا هيس الفكرة التى اقترحها أرثر هولمز وآخرون فى الفترة ١٩٣٠ - ١٩٤٠ م عن نظام نقل الحرارة أو خلايا الحمل الحراري cells convection thermal خلال الوشاح، كميكانيكية تفسر تحرك الألواح . وتبعا لما ذكره هيس، فإن الصهارة الساخنة تصعد من الوشاح وتتداخل على امتداد الكسور فى نطاق الخسف rift zone حيث يتم تحديد الحيود المحيطية وتكون قشرة محيطية جديدة، ثم تندس القشرة المحيطية الباردة فى الوشاح عند الخنادق المحيطية العميقة حيث تسخن وتصعد مرة أخرى . وتحمل خلايا الحمل الحرارى فى الوشاح قاع المحيط إلي الخنادق المحيطية العميقة حيث يغوص قاع المحيط فى الوشاح، بشكل مشابه لأحزمة نقل البضائع .

<u>**أ. الانعكاسات المغناطيسية والانجراف القارى:**</u>

كيف يمكن إثبات فرضية هيس؟ . فإذا كانت هناك قشرة محيطية جديدة تتكون عند الحيود المحيطية باستمرار، وأن المجال المغناطيسي يعكس نفسه دوريا، فان تلك الانعكاسات المغناطيسية ستسجل فى صخور القشرة المحيطية كشاذات مغناطيسية. وقد أشارت النتائج المغناطيسية التى جمعها العلماء إلي وجود نمط غير عادى من شاذات مغناطيسية موجبة وسالبة على قاع المحيط الهادئ من ناحية الشاطئ الغربى لأمريكا الشمالية. وقد تكون فذا النمط من

مجموعات من الشرائط فى اتجاه شمال - جنوب تقريباً، إلا أنها كانت مقطوعة ومزاحة بكسور أساسية تمتد فى اتجاه شرق غرب . وقد فسر ذلك النمط عام ١٩٦٣ م عندما توصل الجيولوجيان البريطانيان فاين وماثيرس Vine and D.Matthews من جامعة كمبر دج وموول W.Morley وهو جيولوجى كندى، مستقلين عن بعضهم، إلي نموذج لشرح هذا النمط من الشاذات المغناطيسية.

وقد اقترح هؤلاء العلماء الثلاثة أنه عندما تنبثق الصهارة البازلتية على قمم الحيود المحيطية، فإنها تسجل القطبية المغناطيسية للأرض magnetic polarity في وقت تبردها. نتيجة لتحرك

قاع المحيط بعيداً عن الحيود المحيطية، فإن تداخلات الصهارة المتكررة سوف تكون محموعات متماثلة من الشرائط المغناطيسية، حيث تسجل أوقات القطبية المغناطيسية العادية والمعكوسة. وقد تأيد ذلك بعد بوقت قصير فاين وماثيرس وموولي بدليل من نتائج المغناطيسية التى قيست عبر حيود ريكينز Reykjanes Ridge وهو جزء من حيود وسط الأطلنطى جنوب غرب جزيرة أيسلندة حيث وجد العلماء أن الشاذات المعناطيسية فى هذه المنطقة تكون شرائط موزعة موازية لبعضها البعض ومتماثلة على جانبى الحيود المحيطى. وفى نهاية ستينيات القرن العشرين وجات أنماط من الشاذات المغناطيسية محيطة بمعظم الحيود المحيطية.

وقد تم المسح المغناطيسي لمعظم قيعان المحيطات تقريبا، حيث توضح نتائج ذلك المسح أن أحدث جزء من القشرة المحيطية يكون محاوراً لحيود الانتشار، وأن عمر القشرة المحيطية يزداد كما ابتعدنا عن محور الحيود المحيطى، كما هو متوقع من فرضية انتشار قيعان المحيطات . وعلاوة على ذلك، فإن عمر أقدم الصخور المحيطية هو ١٨٠ مليون سنة، بينما يبلغ عمر أقدم صخور القشرة القارية المنكشفة حوالى لا ٣,٩٦ بليون سنة. ويؤدى هذا الفرق إل تأييد فكرة أن أحواض المحيطات هى ملامح حديثة جيولوجيا، وأن فتح تلك المحيطات وغلقها مسئول عن حركة القارات .

ب ـ الحفر البحرى العميق: إثبات لفرضية انتشار قيعان المحيطات :

أكدث النتائج التى تم الحصول عليها من مشروع الحفر البحرى العميق Deep – sea Drilling Project التفسيرات التى سبق التوصل إليها من دراسات المغناطيبية القديمة. وقد قدمت أسطوانات الحفر من الرواسب البحرية العميقة وكذلك القطاعات الجانبية (بروفيل) الزلزالية التى تم الحصرل عليها بواسطة سفينة البحوث جلومار تشالنجر Glomar Challenger وسفن البحوث الأخرى العديد من النتائج التى تؤيد فرضية انتشار قيعان المحيطات.

فطبقاً لتلك الفرضية، فإن القشرة المحيطية تتكون با ستمرار عند حيود وسط المحيط وتتحرك بعيداً عن تلك الحيود بسبب انتشار قيعان المحيطات حيث تستهلك عند نطاقات الاندساس subduction zones . فإذا كان الأمر كذلك، فإن القشرة المحيطية يجب أن تكون أحدث عمراً عند الحيود وتصبح أقدم عمرا كلما بعدنا عن تلك الحيود . وعلاوة على ذلك، فإن صخور القشرة

المحيطية على جانبى الحيود تكون متماثلة فى العمر . وتؤيد نتائج المغناطيسية القديمة هذه الاستنتاجات. وبالإضافة إل ذلك، فإن الرواسب الموجودة فوق القشرة المحيطية تحتوى على حفريات تؤكد هذا التوزيع المتوقع للأعمار ، كما تؤكده أيضا نتائج التأريخ بالطرق الإشعاعية لصخور الجزر المحيطية.

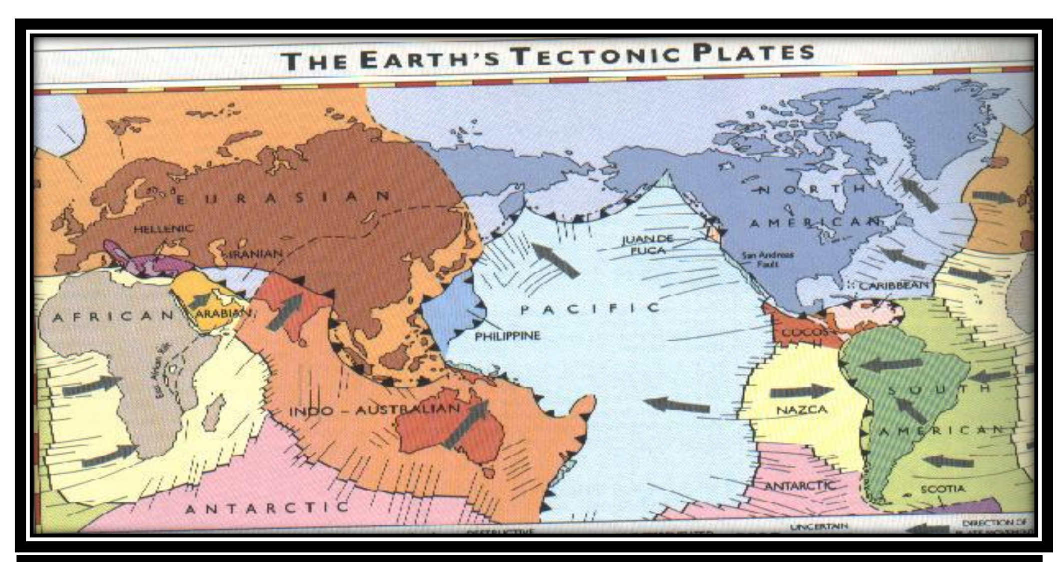
وتتراكم الرواسب فى المحيطات المفتوحة بمعدل لا يقل عن ٣ مم فى المتوسط كل ١٠٠٠ سنة . فإذا كانت أحواض المحيطات قديمة قدم القارات ء فإننا نتوتع أن يصل سمك الرواسب البحرية العميقة لعدة كيلومترات . ومع ذلك، فإن النتائج التى حصلنا عليها من آبار الحفر المتعددة تشير

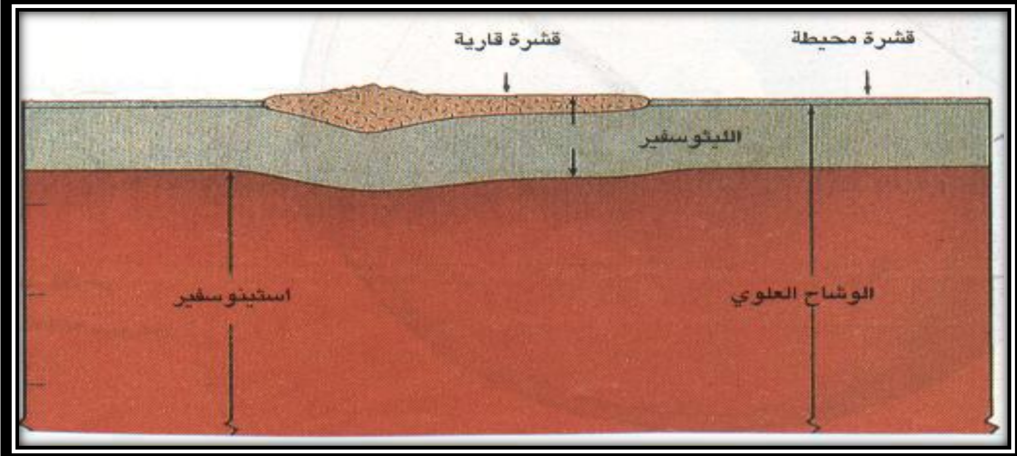
إلي أن سمك الرواسب البحرية العميقة لا يزيد عن عدد من مئات الأمتار وتقل أو تختفى عند الحيود المحيطية. ولا يمثل اختفاء تلك الرواسب عند الحيود المحيطية أى مفاجأة ؟ لأن تلك المناطق هى التى تتكون فيها قشرة محيطية جديدة باستمرار، نتيجة النشاط البركانى وانتشار قيعان المحيطات . وبالتالي لا تجد الرواسب غير وقت قليل لكى تتراكم عند حيود الانتشار أو بالقرب منها حيث تكون القشرة المحيطية حديثة، إلا أن السمك يزداد كلما بعدنا عن الحيود .

. نظرية تكتونية الألواح :

مفهوم نظرية الألواح التكتونية:

•يرجع مفهوم نظرية الألواح التكتونية إلي مانشره ايزاكس وأوليفر وسايكس 1968) بأن Lithosphere نطاق بارد وصلب ويشمل القشرة والجزء العلوي من الوشاح الغلاف مقسم إلي عدد من الألواحplates 12 لوح رئيسي وهذه الألواح صلبة وتكون في حركة دائمة ولكن بطيئة وتتحرك هذه الألواح فوق الغلاف المائع (Asthenosphere نطاق لدن وساخن وله القدرة علي الأنسياب ويوجد علي عمق 700 - 100كم.



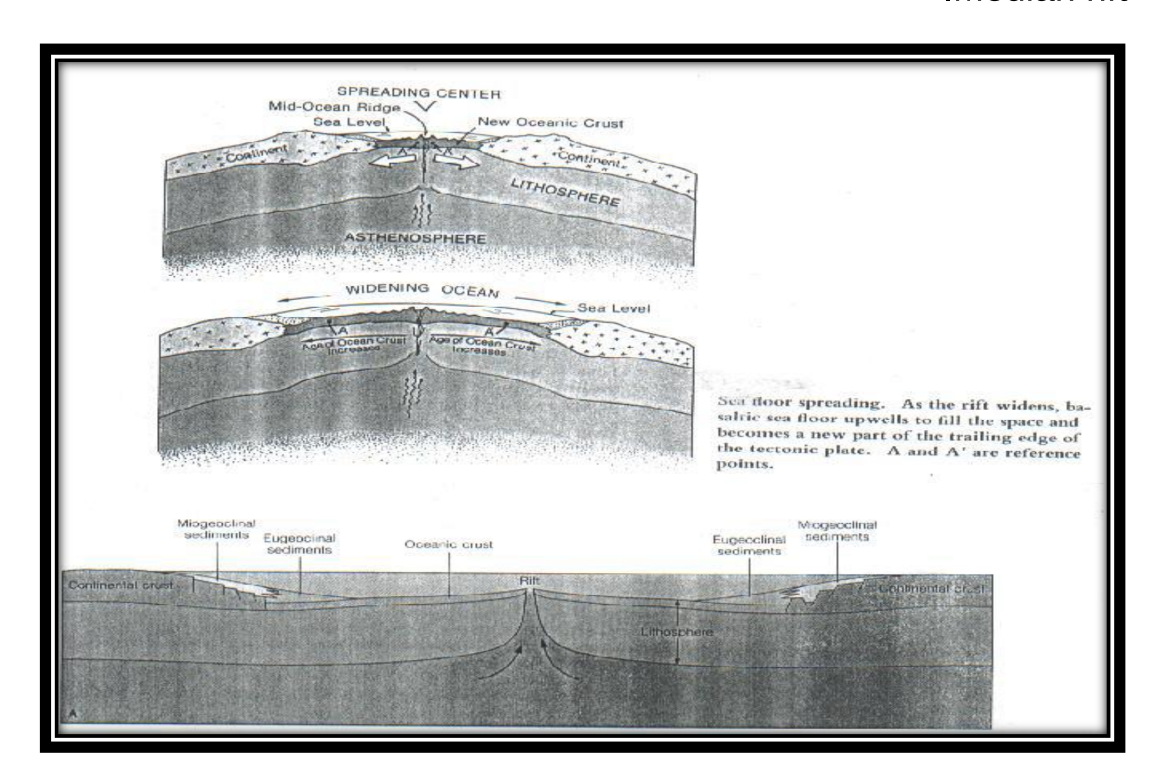


محاور الإنتشار Spreading axes :

●أماكن تكوين أجزاء جديدة من الألواح المحيطية.

●توجد عند حيود منتصف المحيط . Ridges

●يسود عندها قوي الشد حيث يبتعد لوحان عن بعضهما مما يساعد علي تكوين وادي الفلع Median rift.



Sea floor spreading. As the rift widens, basaltic sea floor upwells to fill the space and becomes a new part of the trailing edge of the tectonic plate. A and A' are reference points.

نطاقات الأبتلاع Subduction zone

●تمثل أماكن ابتلاع وأختفاء جزء من لوح محيطي حيث يتم ابتلاعه وإعادته إلي الوشاح.

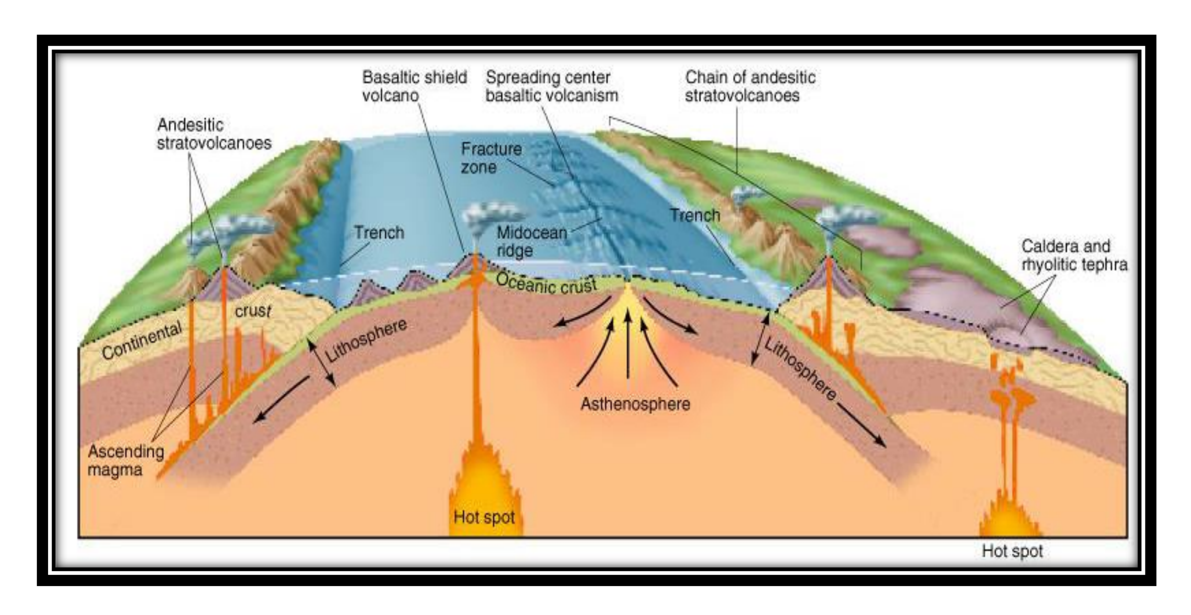
●توجد عند الأخاديد المحيطية (الأغوار) Trenches وأقواس الجزر ونطاقات بيني أوف.

●يسود عندها قوي كبس في اتجاه أفقي تؤدي إلي تكوين صدوع د سر من النوع المعروف بالتحت د سر under thrust faults في الصخور المتكونة في هذا المكان.

●تؤدي قوي الكبس إلي تحول الصخور عند ضغط عالي ودرجة حرارة منخفضة فيتكون نوع من الشيست يتميز بوجود معدن الجلوكوفين Glaucophane الأزرق اللون ولذلك يسمي Blue schist ويسمي هذا التحول بالتحول الشيستي الأزرق. Blue schist Metamorphism .

تقوم نظرية تكتونية الألواح plate tectonic theory على نموذج بسيط للأرض يفترض أن الغلاف الصخرى الصلب للأرض، والذى يشمل كلا من القشرتين المحيطية والقارية بالإضافة

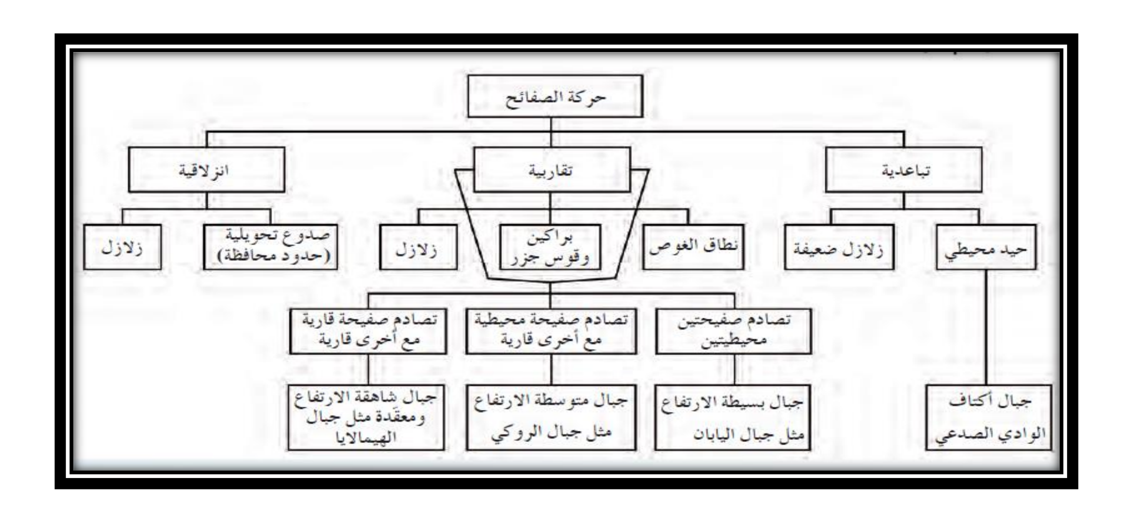
إلى الجزء العلوى للوشاح والموجود أسفل القشرة الأرضية، يتكون من عدد من القطع الصخرية المختلفة الحجم ، والتى تسمى ألواحاً plates .



The mechanism responsible for plate tectonics

وتتكون ألواح الغلاف الصخرى من سبعة ألواح كبيرة . كما أمكن تمييز تسعة من الألواح الأصغر حجما واللويحات والتى تتراوح فى الحجم من متوسطة إلي صغيرة نسبياً .

ويشغل لوح المحيط الهادئ الكبير معظم المحيط الهادئ ويتكون كله تقريبأ من غلاف صخرى محيطى باستثناء جزء صغير من غلاف صخرى قارى يشمل جنوب غرب كاليفورنيا وشبه جزيرة باها بكاليفورنيا. ويتحرك لوح المحيط الهادى فى اتجاه الشمال في غرب . ولذلك يحد هذا اللوح نطاقات اندساس على امتداد معظم حدوده الغربية والشمالية، بينما تكون معظم حدوده الشرقية والجنوبية حدود انتشار. أن باقى الألواح الكبيرة تشمل جزءا من قشرة محيطية وجزءا من قشرة قارية.



طريق تكون الجبل	نوع الصفائح الداخلة في عملية التكون	درجة الحرارة	الضغط	التراكيب	الصخور النارية الناتجة	الصخور المتحولة الناتجة
حواف تباعدية	محيطية أو قارية	ضعيفة كدرجة حرارة الماجما	لا يوجد	صدوع عادية	طفوحات بازلتية	صخر ناري تلامسي حول الطفوحات
حواف تصادمية	محيطية – محيطية	متوسطة	ضعيف	صدوع معكوسة وطيات	أنشطة بركانية ولافا بازلتية	تلامسي + اقليمي ضعيف كالأردواز
	محيطية – قارية	متوسطة إلى عالية	متوسط	صدوع معكوسة وصدوع دثر وطيات كبيرة	بازلتية (انشطة بركانية متفرقة) + تداخلات أنديزيتية	تلامسي + إقليمي متوسط كالشيست
	قارية – قارية	عالية	عالٍ	صدوع معكوسة وصدوع دثر وطيات عملاقة مقلوبة ومضطجعة	تداخلات أنديزيتية وجرانيتية ولا يوجد أنشطة بركانية	إقليمي شديد كالشيست والنيس

الصفائح التكتونية:

لم تقدم نظرية الانجراف القاري سبب مقنع يفسر الية الانجراف لهذة الكتل الضخمة مما ادى الى انتقاد هذه النظرية ، حتي الخمسينيات من القرن الماضي عندما قام العالم البرطاني هولمز بتقديم تفسير مبني على نشاط تيارات الحمل في الطبقة العليا المنصهرة من و شاح الارض و التي تسمى الاسثينوسفير

نظرية الالواح التكتونية : لاحظ العالم الكندي توزو و يلسون ان القارات تتخللها تصدعات ، و فقا له ينقسم الغلاف الصخرى للارض الى صفائح (الالواح او الصفائح التكتونية) حيث تطفو فوق الطبقة العليا للوشاح نحو بعضها او بعيدا عن بعضها او منزلقة بطول بعضها.

حركة الصفائح التكتونية : تتحرك الصفائح التكتونية على طول الحدود الفاصلة بينها كل صفيحة تتحرك حركة مستقلة عن الاخرى ونتيجة هذة الحركة تتعرض الحدود الفاصلة لاجهاد مستمر مما ينتج عنه ظواهر كثيرة مثل :

١- الثوران البركاني.
٢- النشاط الزلزالي.
٣- اتساع قاع المحيط.
٤- الانسياب الصهاري.
٥- بناء الجبال.

يتغير حجم ومكان هذة الصفائح مع الزمن تقسيم الصفائح التكتونية من حيث الحجم الى:

أ- ٧ صفائح ضخمة وهى: صفيحة قاع المحيط الهادى - الصفيحة الاسيواوربية والتى تحمل اسيا واوروبا و نصف قاع المحيط الاطلنطى ونصف قاع المحيط الهندى - صفيحة امريكا الشمالية - صفيحة امريكا الجنوبية - الصفيحة الاسترالية - الصفيحة القطبية الجنوبية - الصفيحة الافريقية).

ب- بعض الصفائح المتوسطة و الصغيرة:

لوحظ ان :

بعض الصفائح تحمل جزء من قارة ، و بعض الصفائح تحمل جزء من محيط

بعضها تحمل جزء من قارة و جزء من محيط معا تتحركان معا في الوقت نفسه خلافا لما كان يعتقد في الماضي ان القارات تطفو على قاع المحيط.

اسباب حركة الصفائح الارضية :

اولا - تيارات الحمل:

كما فسر هولمز يمكن تصور انفلاق الكتلة القارية و انجراف جزأيها على على الشكل التالى :

١- تيارات الحمل الصاعدة تضغط على القشرة القارية لتنثني.
٢- الجزء العلوي منها بارد يستجيب للانثناء بالتفلق.
٣- تتزحزح الكتل المتفلقة مكونة صدوع عادية في و سطها صدع اخدودي.
٤- تمتد الصدوع لتقترب من الطبقة العليا من الوشاح (الاستينوسفير).
٥- تنساب الصهارة لاعلى فتتفلق الكتلة القارية لجزءين و تملا الفراغ بينهما .
٦- مع الوقت تتسع الرقعة التي تشغلها الصهارة التي سرعا ما تتجمد مكونة قشرة محيطية تعلني ايضا من التفلق و استمرار تدفق الصهارة و تجمدها ، و بالتالي يتكون محيط جديد يزيح الكتلتين القاريتين جانبا.

- يتضح مما سبق ان تيارات الحمل في الطبقة العليا من الوشاح هي المحرك الذي يزحزح اجزاء قشرة الارض لا بل هو المسؤول عن تقسيمها الى قطاعات كبيرة سميت فيما بعد الالواح او الصفائح التكتونية و ما يصاحبها من الظواهر.

البقع الساخنة :

تعتبر المناطق الواقعة في وسط الالواح المحيطية مناطق خالية نسبيا من النشاط التكتوني . غير ان هذه القاعدة قد تشذ كما هي الحال في جزر هاوي الواقعة في وسط لوح المحيط الهادي و تعد هذه الجزر جزرا بركانية لسببين يعود السبب الاول الى انها و اقعة فوق بقع ساخنة في المناطق العليا من لب الارض . و يعود السبب الثاني الى ان الحرارة المتصاعدة من هذه النقط خلال وشاح الارض و القشرة الارضية لتصل الى سطح الارض تسبب انصهار جزء من القشرة

المحيطية و من الجزء العلوي للوشاح و هذا ما يؤدي الى اندفاع المادة المنصهرة الى السطح مكونة جزرا بركانية.

طبيعة حدود الصفائح :

طبيعة القوى التى توثر على الصفائح التكتونية:

١- قوى ضغط.
٢- قوى شد.
٣- قوى قص.

تختلف انواع حدود الصفائح تبعا لطبيعة نشاط تيار الحمل او الصدع الذى سببها :

يمكن التعرف على ثلاث انواع من الحدود :

اولا : الحدود التباعدية (البناءة) : و هي التي تتباعد عن بعضها باستمرار بسبب نشاط تيار الحمل الصاعد و انسياب الصهارة باستمرار بينها لتدفعهما بعيدا عن بعضهما كما يحدث حول حيود منتصف المحيطات . تتميز هذه المناطق بانسياب صهيري ناري بطئ . مثال على هذا النوع البحر الاحمر و خليج السويس.

ثانيا : الحدود التقاربية (الهدامة) : هي الحدود التي تندفع نحو بعضها بسبب تيار الحمل الهابط عند مناطق الاخاديد المحيطية حيث ينزلق و يغوص طرف الصفيحة التكتونية تحت الاخرى لينصهر طرفها الغائر في الاستينوسفير . لذا تتميز هذه المناطق بانفجارات بركانية او تداخلات نارية . الحالة الاخيرة تحدث عند انزلاق الصفيحة المحيطية تحت طرف قاري للوح المجاور ، مثل جزر اليابان والفلبين و هاوي . الحدود التقاربية هي الحود المتقابلة لصفيحتين متجاورتين تقعان فوق تيار الحمل الهابط ما يدفعهما نوح بعضهما بعضا . هناك ثلاث حالات للحدود التقاربية تبعا لنوع القشرة الارضية التي تكونها :

١-تقارب حدين محيطيين نحو بعضهما بعض.
٢- تقارب حدين احدهما محيطي و الاخر قاري نحو بعضهما بعضا .
٣- تقارب حدين قاريين نحو بعضهما بعضا.

ثالثا : حدود الصدوع التحويلية (المحافظة) : هي الحواف التي تتحرك بطولها الكتل عكس بعضها . و لا يصاحبها اى نشاط ناري او هدمي او بنائي للغلاف الصخري . و لكن حركة الكتل هذه غالبا ما تسبب انشطة زلزالية . مثال على ذالك صدوع التحويل المسببة لنشأة خليج العقبة في منطقتنا العربية.

.3

	تباعدية	تقاربية	صدوع تحويلية
اتجاه الحركة	بعيدًا عن بعضها	نحو بعضها	انزلاق عكس بعضهما
القوى المؤثرة	شد مع تيار الحمل الصاعد	ضغط مع تيار الحمل الهابط	جز بسبب دوران الأرض حول محورها
النشاط الناري	انسيابات نارية	نشاط بركاني	لا يوجد

الاثار المترتبة على حركة الصفائح التكتونية:

تؤثر حركة الصفائح في حياتنا اما حركة سريعة كالزلازل و البراكين او توثر تاثيرا بطيئا يتعدى عمر الانسان كبناء الجبال و تشكيل سطح الارض.

١- الاخاديد الصدعية:

تتعرض التكوينات الصخرية لحركات الرفع فالشد من قبل البقع الساخنة . و يؤدي ذلك الى تكسرها و تكون صدع ذي ثلاث اذرع . و تهبط عندها الكتلة الوسطى مكونة اخاديد صدعية اما التكوينات الجانبية فتبقي عند مستواها او تندفع الى اعلى و مثال على ذلك اخدود البحر الاحمر الصدعي .

٢- الحيد المحيطى:

يتكون في القشرة المحيطية الواقعة فوق تيار الحمل الصاعد ، حيث يتقوس و تتفلق قمته بسبب تعرضها لقوى شد نتيجة التقوس . و تتحول الشقوق الى صدوع عادية موازية للحدود بين اللوحين و تحصر في مركزها جزاء منخفضا يسمى و اديا صدعيا . و تنبثق دفعات جديدة من الصهارة البازلتية خلالها منتشة على جانبي الحيود ، ما يؤدي الى دفع الالواح و ابعادها عن بعضها البعض و تكوين قشرة محيطية جديدة . و لهذا السبب تسمى الحيود مراكز الانتشار.

٣- الزلازل و البراكين:

ترتبط مواقع الزلازل و البراكين ارتباطا و ثيقا بمواقع حدود الالواح التي تتعرض لقوى شد او ضغط ، الامر الذي يعرضها الى الاجهاد الشديد ، فتتكون الزلازل التي تتوقف قوتها على مقدار تحرك هذه الالواح و سرعتها . و يمكن تعييم بؤرة الزلزال التنطلق منها الطاقة . اما المركز السطحي للزلزال فهو الموقع الموجود على سطح الارض فوق بؤرة الزلزال مباشرة . علما ان موجات متتابعة تسمى الموجات الزلزالية تنطلق من بؤرة الزلزال ، و تنقسم الى موجات اولية و موجات ثانوية و موجات سطحية ، ومن ناحية اخرى غالبا ما يكون النشاط البركاني المنتشر في اماكن معينة ناتجا عن حركة الصفائح التكتونية . فهناك مثلا حلقة النار التي تقع على امتداد حافة المحيط الهادئ و التي تنتشر فيها البراكين و الزلازل.

الظواهر و الاحداث المصاحبة للنشاط التكوني للارض:

- تكسرات القارات:

يعد مرحلة من مراحل الاخدود الصدعي نظرا لاستمرار صعود المادة المنصهرة البازلتية خلال البقع الساخنة و انبثاقها في منطقة الاخدود الصدعي ، مكونة بالتالي قشرة محيطية جديدة.

- الاخاديد او الاغوار المحيطية:

عند اقتراب الالواح من بعضها البعض ينزلق احد الالواح تحت الاخر ليغوص في الطبقة العليا للوشاح (الاسثينوسفير) مكونا انخفاضا اعمق من مستوى قاع المحيط يسمى الغور المحيطي (الاخدود المحيطي) مثل غور بيرو و تشيلي

- قوس الجزر:

يسمى الجزء المنغنس في الطبقة العليا من الوشاح نطاق الغوص . يتعرض طرف اللوح المنزلق للانصهار ما يؤدي الى اندفاع الصهارة الى اعلى مكونة سلسلة من البراكين النشطة . و عندما تهدا هذه البراكين تطل سلسلة من الجزر تسمى قوس الجزر على الاخاديد المحيطية مثل جزر الفلبين و اليابان في المحيط الهادئ.

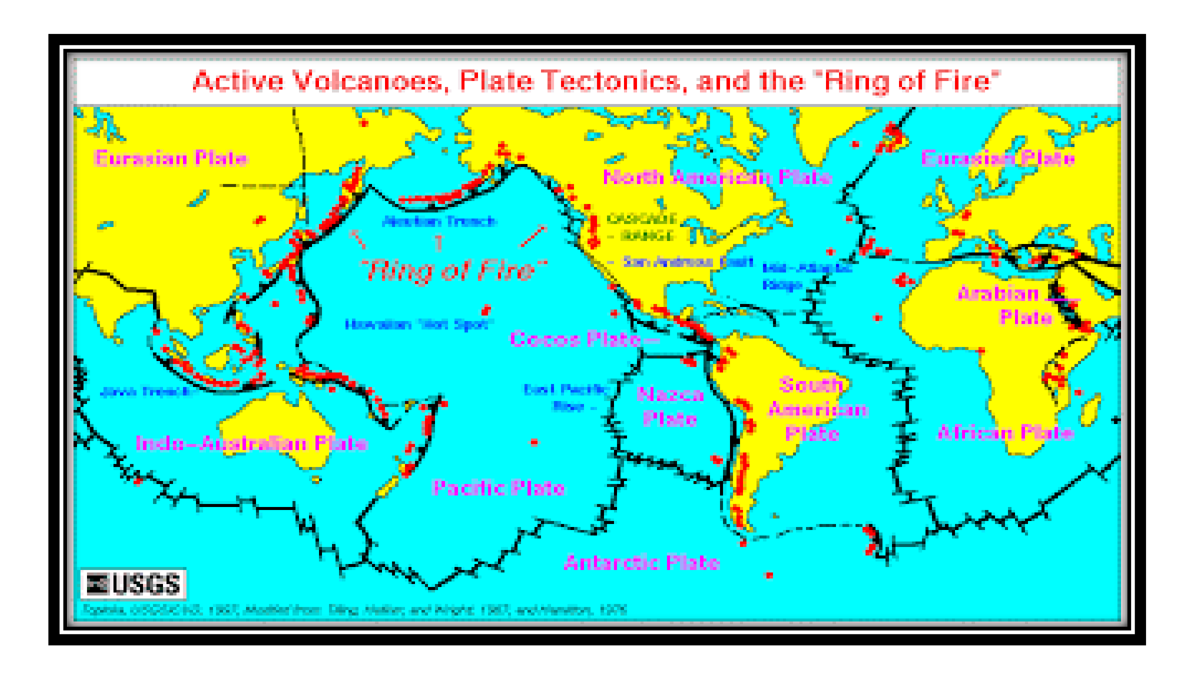
- تكون الجبال و القارات:

تتكون الجبال نتيجة ارتفاع سطح الارض في منطقة او اقليم ما ، حيث تتكون سلاسل جبلية عالية . بناء على ذلك يمكن تصنيف الجبال وفقا لما يلي : -

١- جبال اكتاف الوادي الصدعي كالجبال المنتشرة على ضفتي خليج السويس و البحر الاحمر.
٢- جبال عند حدود الصفائح التقاربية كجبال الهيمالايا والالب.

- نظرية توازن القشرة الارضية:

تتكون قيعان البحار و المحيطات من صخور ذات كثافة عالية نسبيا و هي صخور البازلت و شبيهاتها ، في حين ان القارات تتكون من صخور اقل كثافة مثل الجرانيت و تكون جذورها عميقة في الارض ، و هذه الكتل سواء اكانت في الجبال او في قيعان البحار و المحيطات ، تطفو فوق مادة ذات كثافة عالية و تحت ضغط هائل و في حالة لزوجة او لينة نسبيا (وشاح الارض) و على الرغم من ذلك فهي في حالة من التوازن . ومن خلال دراستنا السابقة لعوامل التجوية والتعرية عرفنا انها تقوم بتفتيت صخور القارات و تنقلها و ترسبها في قيعان البحار و المحيطات ، نتيجة لذلك اخذت قيعان البحار و المحيطات في الهبوط التدريجي لتضغط على وشاح الارض اسفل منها لذلك ينتقل الوشاح افقيا الى مناطق اخرى اقل ضغطا نسبيا و هذه المنطقة هي اسفل الجبال التي اصبحت اخف وزنا بعد تاكلها و بذلك ارتفعت هذه الجبال لتعيد حالة التوازن بينها و بين قيعان البحار.



ويشمل اللوحان الأمريكى الشمالي والأمريكى الجنوبى معظم الغلاف الصخرى القارى لأمريكا الشمالية والجنوبية بالإضافة إلي الغلاف الصخرى المحيطى الواقع غرب حيد وسط الأطلنطى . ومعظم الحد الغربى للوحين الأمريكيين الشمال والجنوبى هو حد اندساس حيث تهبط القشرة المحيطية تحت الغلاف الصخرى القارى، بينما يكون الحد الشرقى لهذين اللوحين هو حد انتشار . ويشغل الغلاف الصخرى القارى معظم اللوح الأوروأسيوى، بينما يحد الحافة الغربية والشمالية حزام من غلاف صخرى محيطى. ويوجد فى وسط اللوح الأ فريقى غلاف صخرى قارى، يكون قارة أفريقيا، يحيط به تقريباً غلاف صخرى محيطى.

ويأخذ اللوح الاسترالي - الهندى شكل مستطيل طويل، ويكون معظمه عبارة عن غلاف صخرى محيطى يضم لبين من الغلاف الصخرى القارى، هما : قارة أستراليا وشبه القارة الهندية . وتدل بعض الدراسات الحديثة أن تلك القارتين تتحركان مستقلتين عن بعضهما، ويمكن اعتبارهما فعليا أجزاء من ألواح مستقلة. ويأخذ لوح القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) شكلاً بيضاويا تقريباً حيث تكون معظم حوافه عبارة عن حدود انتشار، مما يعنى أن الألواح الأخرى تتحرك بعيداً عن القطب الجنوبى. وتكون قارة القطب الجنوبى (أنتاركتيكا) لبا من غلاف صخرى قارى، يحيط به تماماً غلاف صخرى محيطى.

حدود اللوح العربى الذى يتكون كلية من غلاف صخرى قارى. وعلى الرغم من أن البحر الأحمر وخليج عدن لا يحدث عليهما زلازل كبيرة، إلا أن وجودهما (كنواة لمحيطات فى المستقبل) هو المسئول عن دفع اللوح العربى إلي اللوح الأورآسيوى، مما تسبب فى نشأة عديد من الزلازل المدمرة هناك . وقد أدى هذا التصادم إلي نشأة جبال زاجروس وطوروس، وتكون عديد من الصدوع وحدوث زلازل مدمرة مميزة لهذا الجزء من العالم . كما يختلف سمك الألواح، حيث يصل سمك الألواح المتكونة من الوشاح العلوى الصلب والقشرة القارية إلي حوالى ٢٠٠

كم، بينما يصل سمك الألواح المتكونة من الوشاح العلوى الصلب والقشرة المحيطية إلي حوالى ١٠٠ كم .

ويوجد الغلاف اللدن (الأسثينوسفير) أسفل الغلاف الصخرى، والذى يكون أكثر سخونة وضعفا . ويعتقد أن حركة الألوح التى تعلو الغلاف اللدن تنشأ بسبب وجود نظام انتقال حرارى يشمل تياراً صاعداً للمواد الساخنة والتيار المستعرض وتياراً هابطاً للمواد الباردة . وعندما تتحرك الألواح

فوق الغلاف اللدن، فإنها تنفصل غالبا عند الحيود المحيطية، بينما تصطدم وتندس فى مناطق أخرى مثل الخنادق المحيطية، حيث تعود مرة أخرى إلي الوشاح .

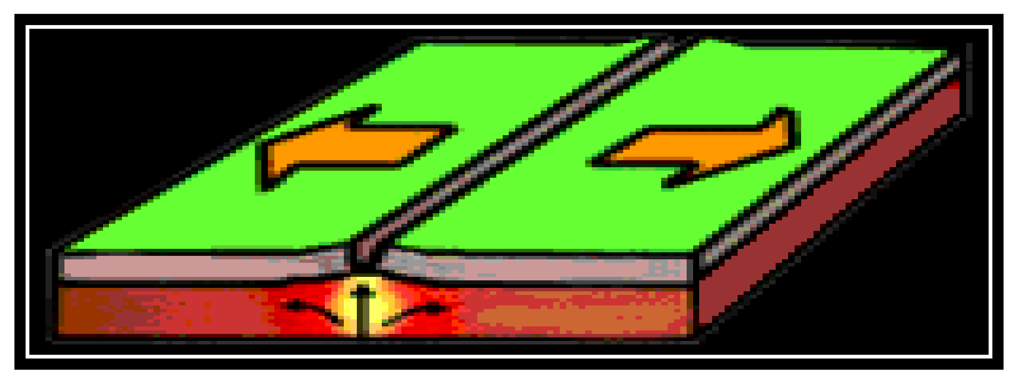
وتلقى نظرية تكتونية الألواح حاليا قبولا واسعا من معظم الجيولوجيين، بسبب الأدلة المتعددة التى تعتمد عليها، كما أنها نظرية شاملة تفسر عديداً من الملامح والأحداث الجيولوجية والتى يبدو أنها غير مرتبطة ظاهريا . ويفسر الجيولوجيون الآن عديداً من العمليات الجيولوجية، مثل بناء الجبال والنشاط الزلزال والنشاط البركانى فى ضوء نظرية تكتونية الألواح.

أ. حدود الألواح:

تتحرك الألواح بالنسبة لبعضها البعض، بحيث يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من حدود الألواح وهى الحدود المتباعدة والمتقاربة والناقلة. ويسبب تفاعل الألواح مع بعضها عند حدودها معظم النشاط الزلزالي والنشاط البركانى على الأرض وكذلك عمليات بناء الجبال .

١ـ الحدود المتباعدة :

توجد حدود الألواح المتباعدة divergent plate boundaries ، والتى تعرف أيضاً بمراكز الانتشار spreading centers، عندما تنفصل الألواح عن بعضها ويتكون غلاف صخرى محيطى جديد، على امتداد محور حيود وسط المحيط mid – oceanic ridges . وتتميز الحيود المحيطية بطوبوغرافية وعرة متجعدة وتضاريس مرتفعة على امتداد كسور كبيرة (صدوع عادية) مع هبوط قاع الوادى الممتد على قمة الحيود ونشاط زلزالي وسريان حرارى heat flow عال وانسيابات بازلتية أو لابة وسائدية . وجدير بالملاحظة أن انبثاق اللابة وتدفقها من قمة الحيود المحيطية، وعلى امتداد مراكز الانتشار لا يكون مستمرا، وانما يتدفق بشكل متقطع مح تغير موقع المحور البركانى مح مضي الزمن . ويؤدى انبثاق اللابة إلي تكون قشرة محيطية، كما تؤدى الانبثاقات المتتابعة إلي تكون حيود وسط المحيط.

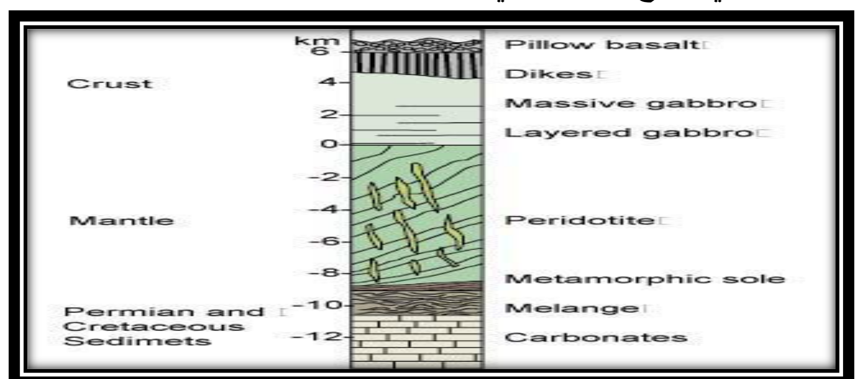


وتعتمد دراسة قيعان المحيطات على المعلومات التى تم جمعها من الحفر فى المحيطات ومن جانبية (بروفيل) الموجات الصوتية، بالإضافة إلي دراسة الأوفيوليتات، وهى تجمعات من صخور مميزة لقيعان المحيطات موجودة فوق اليابسة حاليا، وانتقلت نتيجة انتشار قيعان المحيطات، ثم صعودها فوق مستوى سطح البحر ودفعها فوق القارات أثناء مرحلة من تصادم الألواح . وتتكون تلك التجمعات والمعروفة بالمجموعات الأوفيوليتية ophiolite suites من صخور الجدد البازلتية المتلاصقةsheeted dykes ثم صخور الجابرو gabbros ثم صخور البيريدوتيت المتحولة ثم رواسب الماء العميق ولابات بازلتية بحرية وتداخلات نارية مافية (صخور الجابرو) .

كيفية تكون صخور الأوفيوليت:Ophiolite Suite

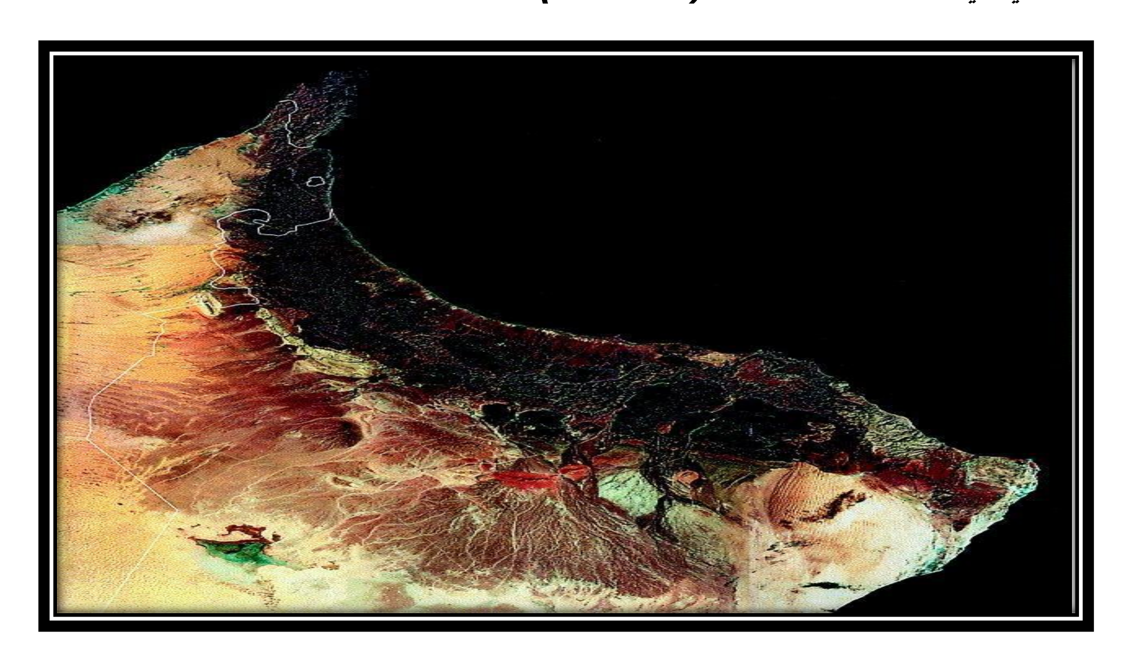
•وعند نزول القشرة المحيطية إلي نطاق الابتلاع يحدث كشط لشرائح (Slabs) منها وتتكون هذه الشرائح من أعلي لأسفل من رسوبيات المحيط العميقة(الطفل shale والحجر الجيري والتشيرت الراديولاري radiolarian chert ورواسب التيارات المعكرة Turbiditesوجزء من الصخور النارية الواقعة تحتها (صخور الافا البازلتية الوسائدية Basaltic pillow lavaمتبادلة مع صخور الانسيابات البازلتية basaltic lava flow .

•وهذ ا التتابع للقشرة المحيطية هو الذي يطلق علية كذلك صخور الأوفيوليت Ophiolite Suiteاذا كان منكشفا علي سطح الأرض كما هو الحال في جبال عمان والالب والهيمالايا والأبلاش . ووجود هذة الصخور علي الأرض في هذه السلاسل الجبلية يوضح أنها نشأت في قاع محيط قديم تم اغلاقة (نتيجة ابتلاع قشرتة أثناء تكوين سلسلة الجبال . ويشير مكان صخور الأوفيوليت علي سطح الأرض إلي السرة Suture أومكان غلق المحيط القديم.

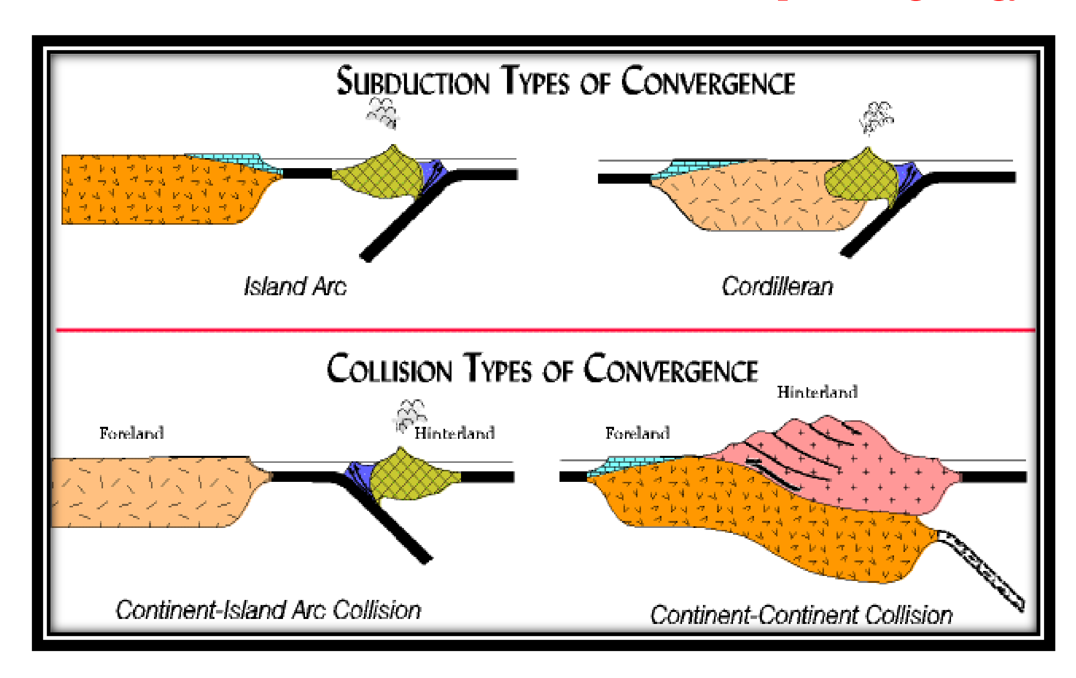


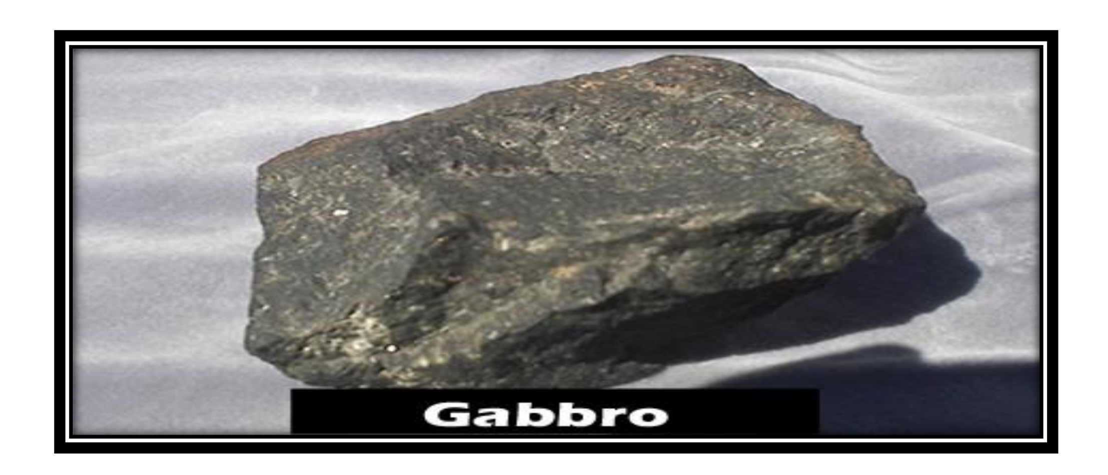
وقد تتواجد صخور الأوفيوليت علي سطح الأرض عن طريق د سر القشرة المحيطية فوق سطح الأرض Obduction كما هو الحال في جبال عمان (اوفيوليت سمايل Semail Ophiolite).

عند اصطدام لوح قاري مع لوح محيطي قد تقفز إحدى شرائح القشرة المحيطية فوق القارة وتسمي في هذه الحالة أوفيوليت (جبال عمان) .



Semail ophiolite geology









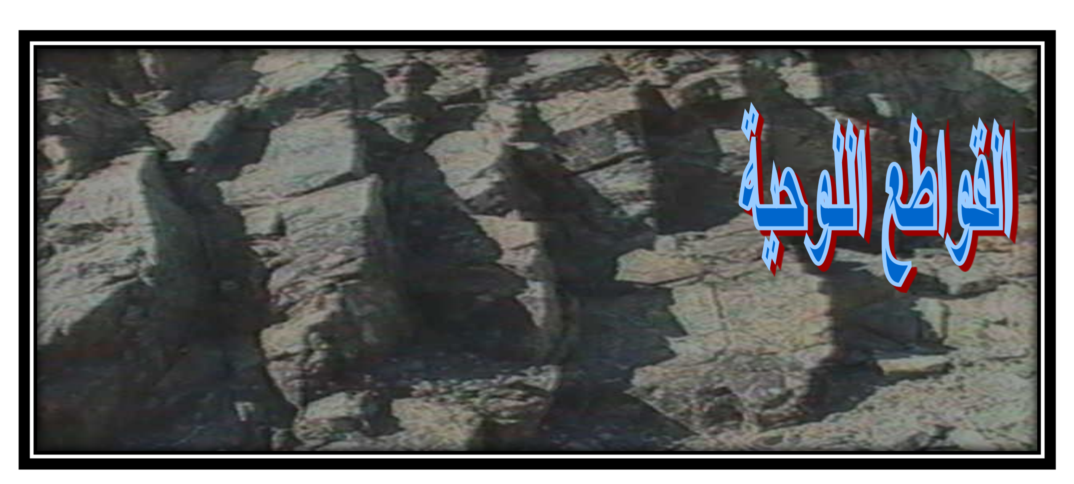
وتعتبر عملية نشأة قيعان المحيطات غير مفهومة تماما حتى الآن ، ولكن من المعروف أنها تشتمل على نشاط صهارى ودوران لماء البحر ونشاط تكتونى. وقد أظهرت جانبيات (بروفيلات) الموجات الصوتية عديداً من غرف (أو عدسات) الصهارة الصغيرة. حيث يصعد الوشاح الساخن نتيجة انفصال الألواح ويبدأ فى الانصهار. وعندما تصل مادة الوشاح إلي أعماق ضحلة، فإنها تصبح مكونة من خليط من حوالى ٨٥% بلورات و ١٥% من صهير بازلتى. ويملأ هذا الصهير غرفة صهارة ضحلة رقيقة عدسية الشكل، يندفع منها فرش من القواطع .

وتتداخل تلك القواطع المتكونة حديثا داخل قواطع سبق انبثاقها لتكون تركيب يتكون من محموعة من القواطع الرأسية المتوازية تقريباً والمتراصة وتشبه محموعة كتب متوازية موضوعة راسياً.

ويعرف هذا التركيب باسم القواطع الصفائحية sheeted dykes . ويتصلب البازلت المتدفق فوق سطح المحيط ليكون لابات وسائدية وهى اللابات المميزة للنشاط البركاني تحت الماء. وتكون اللابات البازلتية غطاءً فوق القواطع الصفائحية. وعندما يتصلب الخليط الموجود في غرف الصهارة فإنه يكون صخر الجابرو (المقابل الجوفي لصخور البازلت) الذي يكون طبقة أسفل القواطع الصفائحية. وتتكون طبقة رقيقة من الرواسب البحرية العميقة تغطي القشرة المحيطية المتكونة حديثاً.

وعندما ينتشر قاع المحيط، فإن طبقات الرواسب واللابات والقواطع والجابرو تنقل بعيدا عن حيود وسط المحيط حيث يتجمع هذا التتابع المميز من الصخور، والذي يكون القشرة المحيطية.

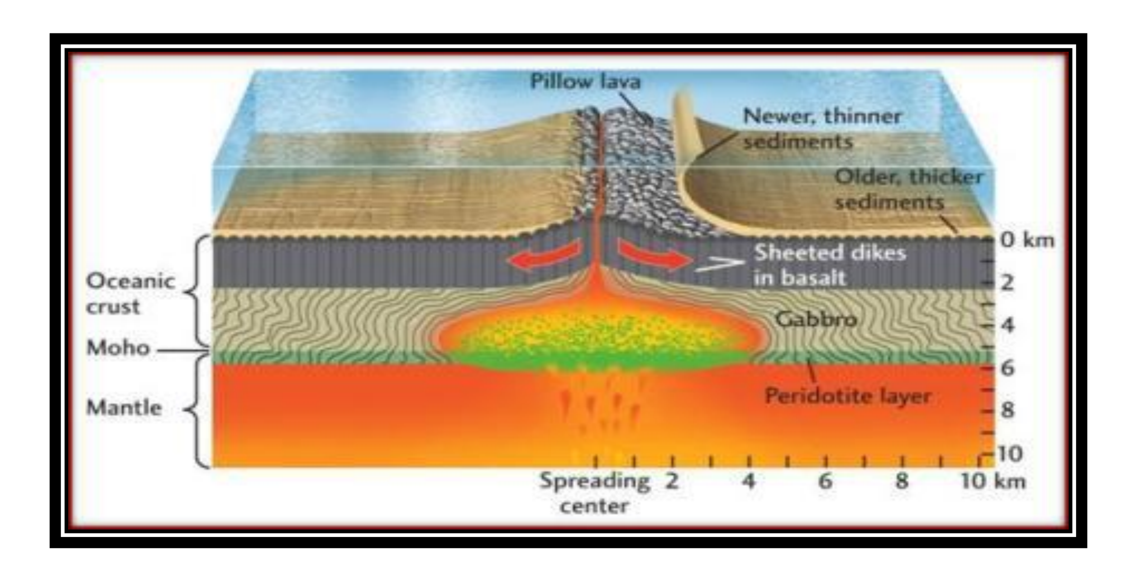




وتتواجد أيضاً الحدود المتباعدة تحت القارات خلال المراحل الأولى لتكسر القارات . وعندما تصعد الصهارة تحت قارة، فإن القشرة الأرضية ترتفع أولا وتتمدد ويقل سمكها نتيجة التحدب، حيث تتكون كسور ووديان خسف rift valleys . وخلال هذه المرحلة، تتداخل الصهارة فى

الصدوع والكسور لتكون جددا موازية sills وقواطع dikes وانسيابات من اللابة. وتغطى انسيابات اللابة فى معظم الأحيان قيعان وديان الخسف. وتقدم وديان خسف شرق أفريقيا مثالاً مميزا لهذه المرحلة من تكسر القارات .

وعندما تستمر عملية الانتشار، فإن بعض وديان الخسف تستمر فى الاستطالة والتعمق حتى تكؤن بحرا ضيقا ، ممتدا طوليا ليفصل بين الكتلتين القارتين. ويمثل البحر الأحمر الذى يفصل شبة الجزيرة العربية عن أفريقيا وكذلك خليج عدن جنوب الجزيرة العربية . وخليج كاليفورنيا الذى يفصل باها كاليفورنيا Baja California عن أرض المكسيك، أمثلة جيدة لهذه المرحلة الأكثر تقدماً من عملية الخسف. وفى النهاية فإن نطاق الخنسف يبقى مكانا لاستمرار النشاط النارى وتنشأ باستمرار قشرة محيطية جديدة لحوض محيطى مستمر فى التمدد.



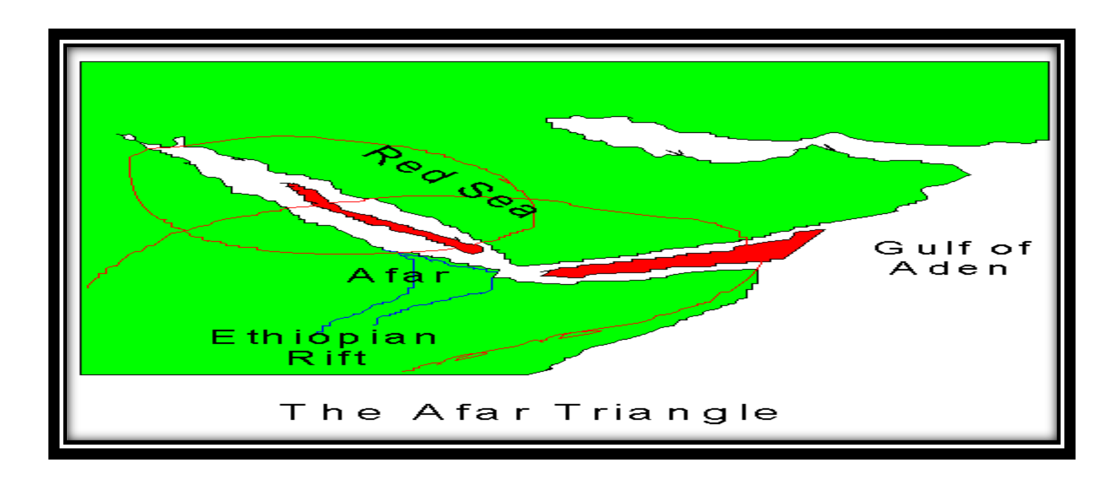
الصخور النارية عند سلاسل جبال وسط المحيط. بناء قشرة محيطية بازلتية جديدة مع تكون التراكيب الوسائدية. يتضح من هذا الشكل أن التتابع الصخري لقاع المحيط يتألف من طبقة رقيقة من الصخور الرسوبية يقع أسفلها صخور بازلتية ومن ثم صخور الكابرو وأخيراً طبقة من البيريدوتايت.

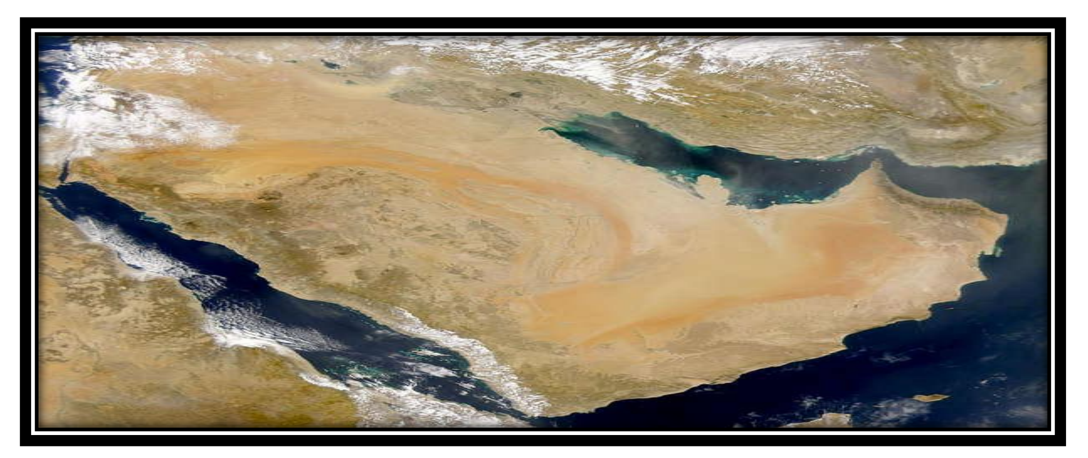
<u>ونتيجة لحركة الألواح فى الحدود المتباعد يمكن تفسير العديد من الأحداث الجيولوجية:</u>

- البراكين علي طول الحيود الوسط محيطية وذلك نتيجة اندفاع المواد المصهورة من نطاق الاسثينوسفير.



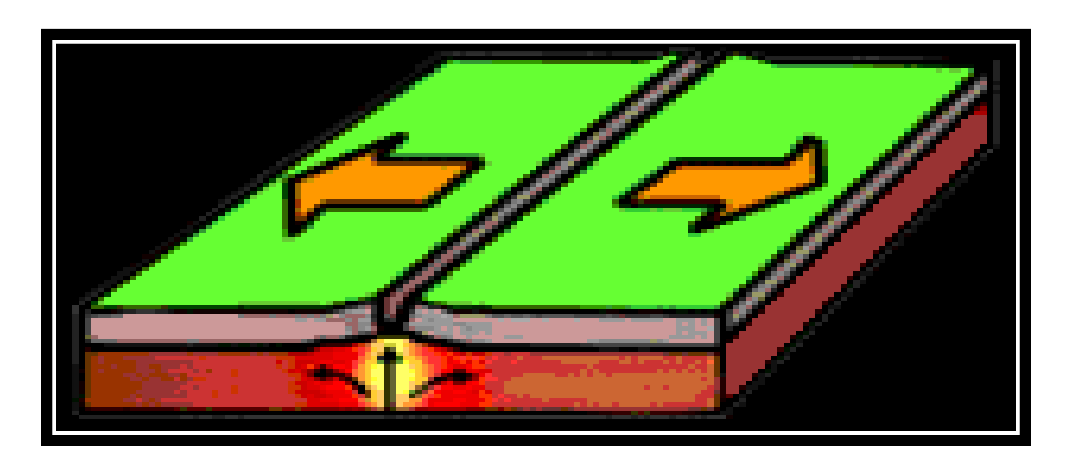
- تكون البحر الأحمر نتيجة تباعد اللوح العربي عن اللوح الأفريقي.



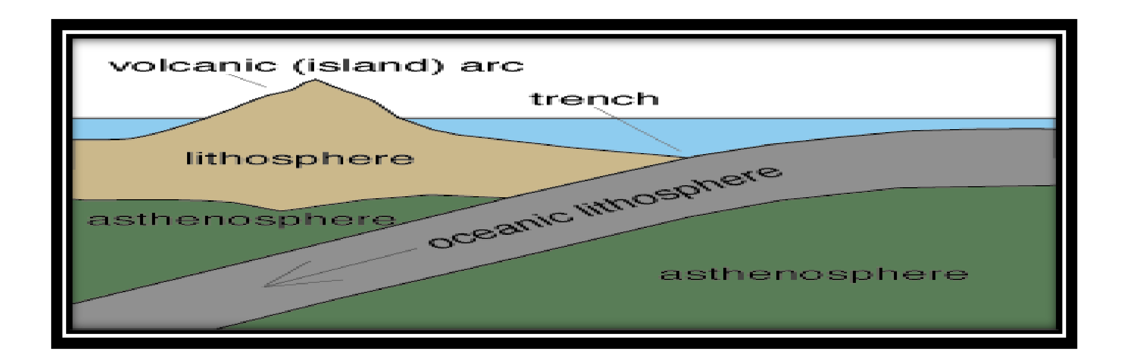


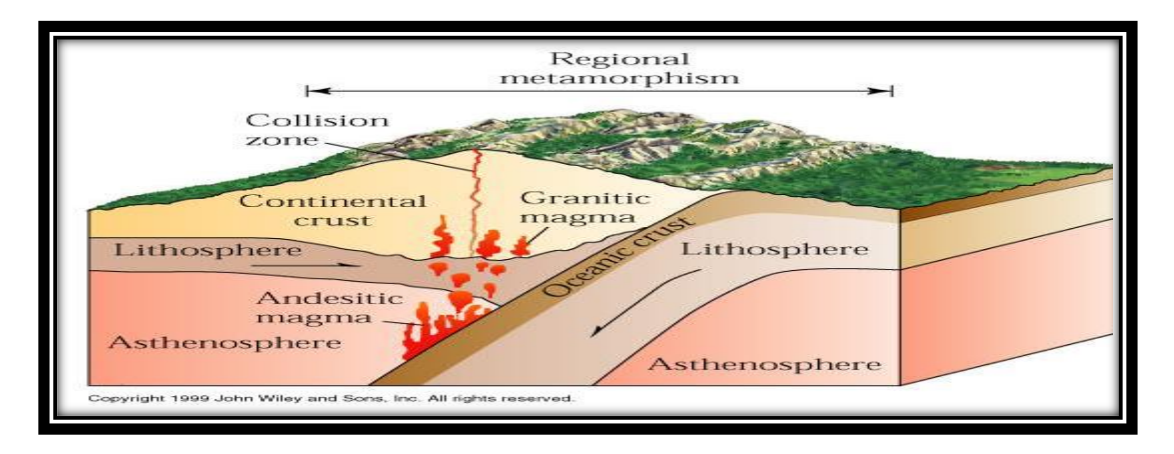
٢ ـ الحدود المتقاربة:

ليتكون غلاف صخري جديد باستمرار على امتداد حدود الألواح المتباعدة ، فإن الغلاف الصخرى الأقدم يجب أن يستهلك ويعاد تدويره لكى تبقى المساحة الكلية لسطح الأرض ثابتة ، وإلا فإن الكرة الأرضية ستتمدد باستمرار. ويحدث هذا الاستهلاك للألواح عند حدود الألواح المتقاربة convergent plate boundaries حيث يقترب أو يتصادم لوحان.



وعندما يتصادم لوحان، فإن الحافة المتقدمة لأحد اللوحين تهبط عند الحد المتقارب تحت حافة اللوح الأخر نتيجة عملية الاندساس subduction. وتتراوح زاوية الهبوط بين ٣٥ درجة و ٩٠درجة تقريباً من السطح وتتكون خنادق محيطية عميقة. ويحدد المستوى المائل للبؤر الزلزالية والمعروف بنطاق بيني أوف Benioff zone ، نطاق الاندساس. وبينما يتحرك اللوح المندس إلي أسفل في الغلاف اللدن (الأستينوسفير)، ترتفع درجة حرارته وينصهر فى الوشاح فى النهاية . وتعرف المنطقة المقوسة للنشاط الصهارى باسم قوس صهارى magmatic arc، حيث يمتد هذا القوس موازيا للخندق المحيطى وتصعد الصهارة إلي السطح لتكون سلسلة من البراكين. فإذا تكونت البراكين على قشرة محيطية، فإن القوس الصهارى يعرف فى تلك الحالة بقوس جزر بركاني volcanic island arc. أما إذا تكونت على القشرة القارية، فإن القوس الصهارى يسمى قوساً بركانياً قارياً continental volcanic arc . ولايحدث الاندساس عندما يكون كل من اللوحين المتقاربين قاربين، بسبب أن كثافة القشرة الأرضية ليست عالية بدرجة كافية لتندس فى الوشاح .





Ocean – Continent Convergence

وتتميز حواف الألواح المتقاربة بالتشوه والنشاط البركانى وبناء الجبال والتحول والنشاط الزلزالي وتكون رواسب معدنية مهمة. ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من حدود الألواح المتقاربة وهى: محيطى - محيطى، محيطي –قارى ، قاري - قاري .

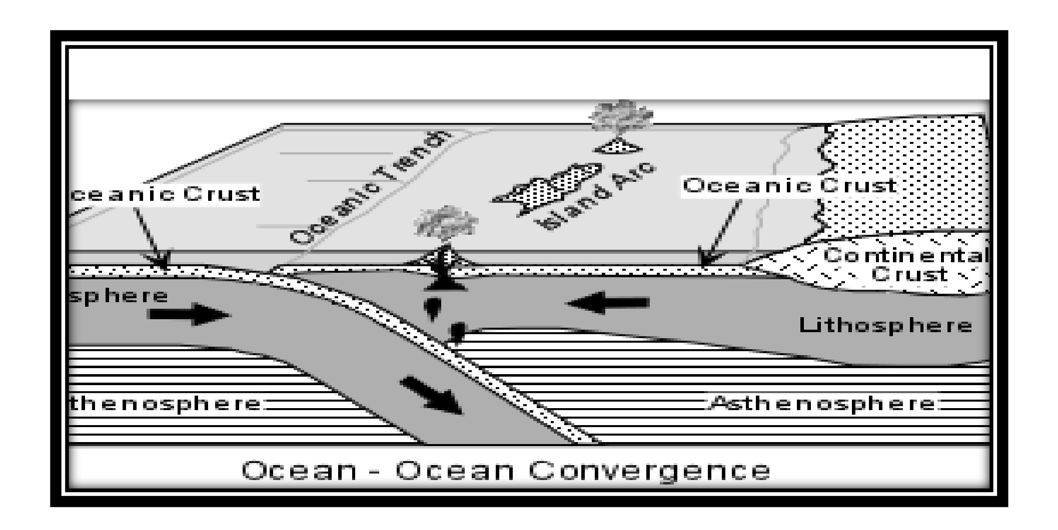
الحدود المحيطية ـ المحيطية:

ينتج عنه :

1 - غور عميق.

2 -الجزر البركانية علي هيئة أقواس جزر.

عدما يتقارب لوحان محيطان، يندس أحدهما تحت الأخر على امتداد حد لوح محيطي - محيطي oceanic – oceanic plate boundary ، ويهبط اللوح المندس لأسفل ليكون الجدار الخارجى للخندق المحيطى . ويتواجد على امتداد الجدار الداخلي للوح المندس أجزاء من رواسب بحرية وتدية الشكل مطوية ومتصدعة بدرجة كبيرة ، بالإضافة إلي غلاف صخرى محيطى تم انتزاعه (كشطه) من اللوح الهابط . وعندما يهبط اللوح المندس فى الغلاف اللان (الأستينوسفير) فإنه يسخن وينصهر جزئيا .



Ocean - Ocean Convergence

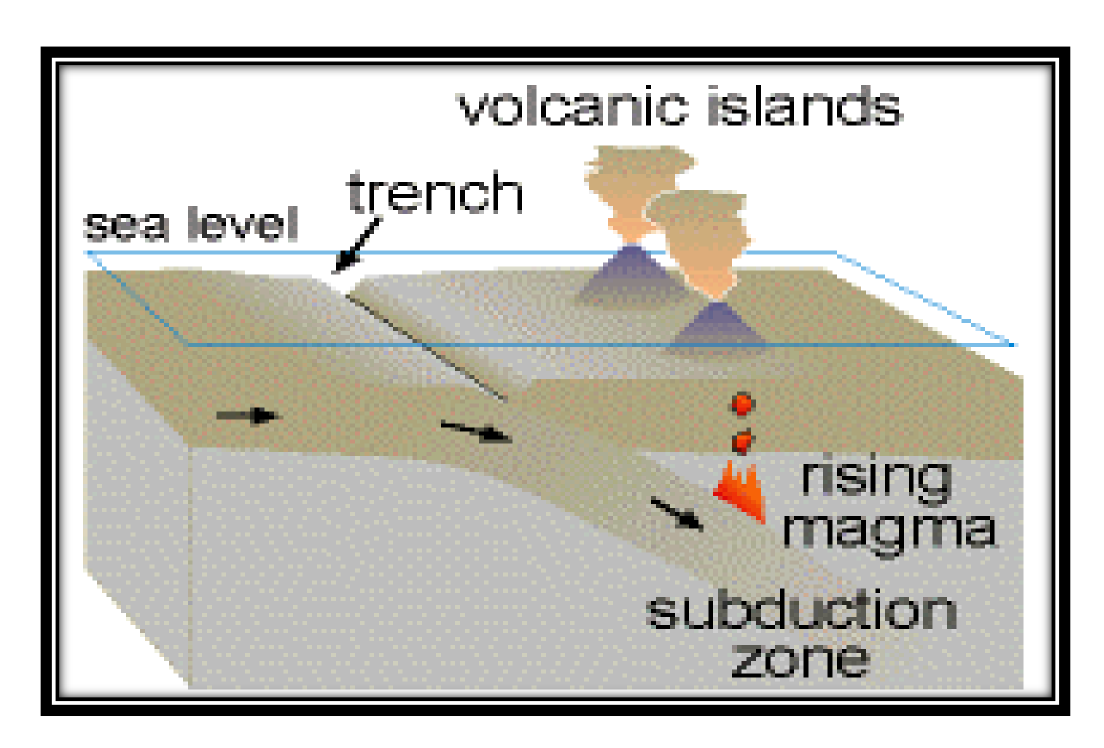
وينصهر بعض البازلت ومعه الرواسب فى اللوح، حيث ينطلق الماء وبعض المواد الأخرى. ويؤثر الماء المنطلق فى صخور البريدوتيت، وهى المكون الرئيسى لوتد الوشاح الموجود فوق اللوح المندس وتحت اللوح العلوى الراكب، حيث يسبب انصهارها .

وتصعد مواد الوشاح الساخن الأقل كثافة وتستمر عملية الانصهار عندما ينخفض الضغط. ويكون الخليط الناتج من انصهار اللوح والصهير الناتج من الوشاح البريدوتيتى صهارة فوقمافية. ولقد تم التعرف فى تلك الصهارة على عناصر شحيحة مميزة للقشرة المحيطية والرواسب، مما يدل على مساهمة الصهير الناتج من انصهار اللوح الهابط فى الصهارة .

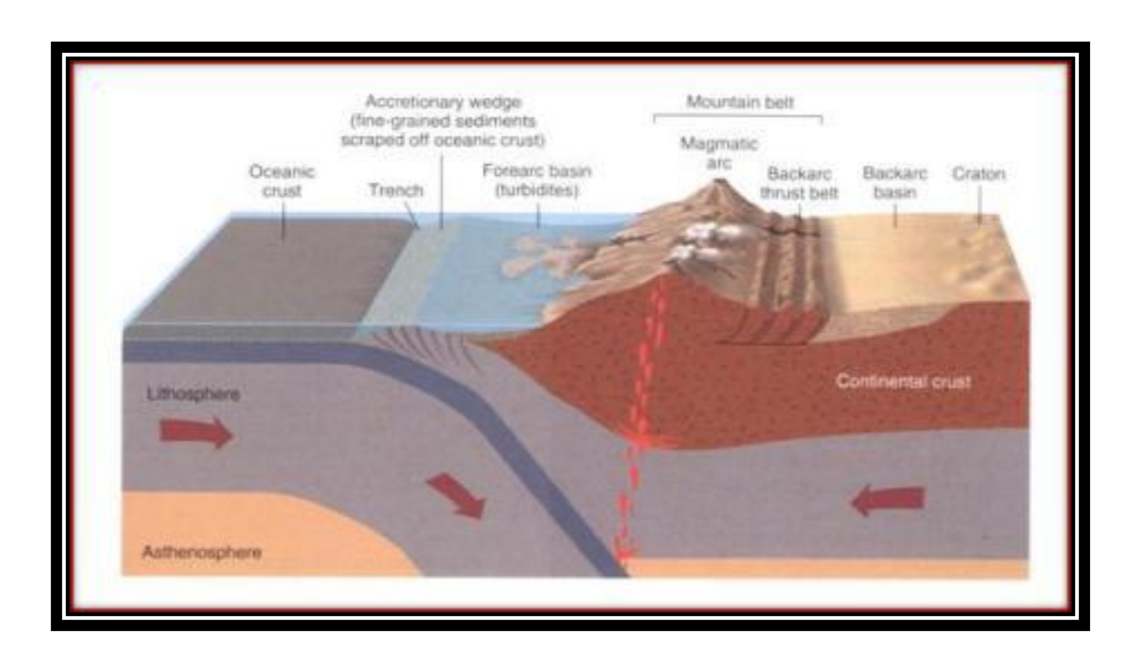
وتتراكم معظم الصهارة الفوقمافية عند قاعدة قشرة اللوح الراكب، حيث يتداخل بعضها فى القشرة. ويحدث التبلور التجزيئى fractional crystallization حينما تنفصل الصهارة أثناء تبردها إل مكونات محتلفة، بسبب التكون والعزل المتواليين للبلورات عند درجات حرارة متتابعة

الانخفاض . كما قد تبتلع الصهارة بعض صخور القشرة وتهضمها خلال عملية التمثل assimilation process . وبهذه الطريقة فإن الصهارة الفوقمافية تكون صهارات ولابات مافية وأخرى أكثر سيليكية، مثل البازلت والأنديزيت (ونادرا الداسيت).

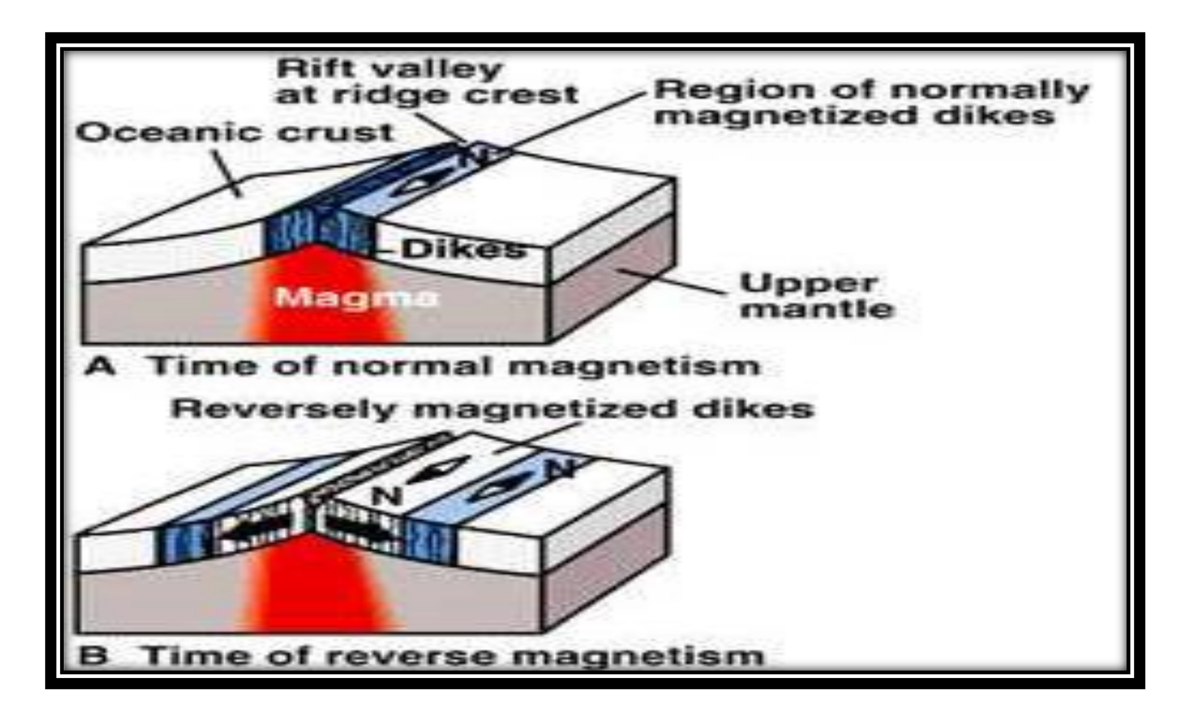
وتكون كثافة تلك الصهارة أقل من صخور الوشاح المحيطية وتصعد إلى سطح الأرض خلال اللوح العلوى الراكب overriding plate، حيث تتكون سلسلة منحنية (مقوسة) من البراكين تسمى قوس جزر بركانى volcanic island arc (لاحظ أن أى مستوى يقطع جسم كروى يكون قوسا). ويوازى فذا القوس تقريبا الخندق المحيطي ويكون مفصولا عنه بمسافة قد تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات، حيث تعتمد تلك المسافة على زاوية ميل اللوح الهابط . وتوجد منطقة بين قوس الجزر والخندق المحيطى تسمى أمام القوس ، وتشمل تلك المنطقة حوض أمام القوس forearc basin وهو نطاق منخفض ممتلئ بالرواسب المستمدة من القوس



البركانى، بالإضافة إلي وتد متزايد accretionary wedge من الرواسب المحيطية والقشرة المحيطية التى كشطت من اللوح الهابط. وتمثل جزيرة سومطرة فى إندو نيسيا جزءا من قوس صهارى يتاخمه حوض أمام قوس. ويوجد خلف القوس البركانى حوض خلف القوس backarc basin يتكون من قشرة محيطية بازلتية. ويمثل بحر اليابان ين قارة آسيا وجزر اليابان مثالا جيدا لحوض خلف القوس مصاحب لحد لوح محيطي- محيطي.



الصخور الرسوبية عند حافات الأطباق التقاربية، تحديداً نطاق الغوران المتكون من تقارب قشرة محيطية من اخرى قارية. يلاحظ وجود حوضين ترسيبيين على جانبي السلسلة الجبلية، الأول باتجاه القارة ويعرف بالحوض الخلفي (Backarc Basin) والثاني باتجاه البحر ويعرف بالحوض الأمامي (Forearc Basin) والذي ينتهي عند حافة الخندق المحيطي (Plummer *et al*., 2003).



The orientation of Earth's magnetic field and the polarity of rocks of the ocean floor relative to the oceanic ridge.

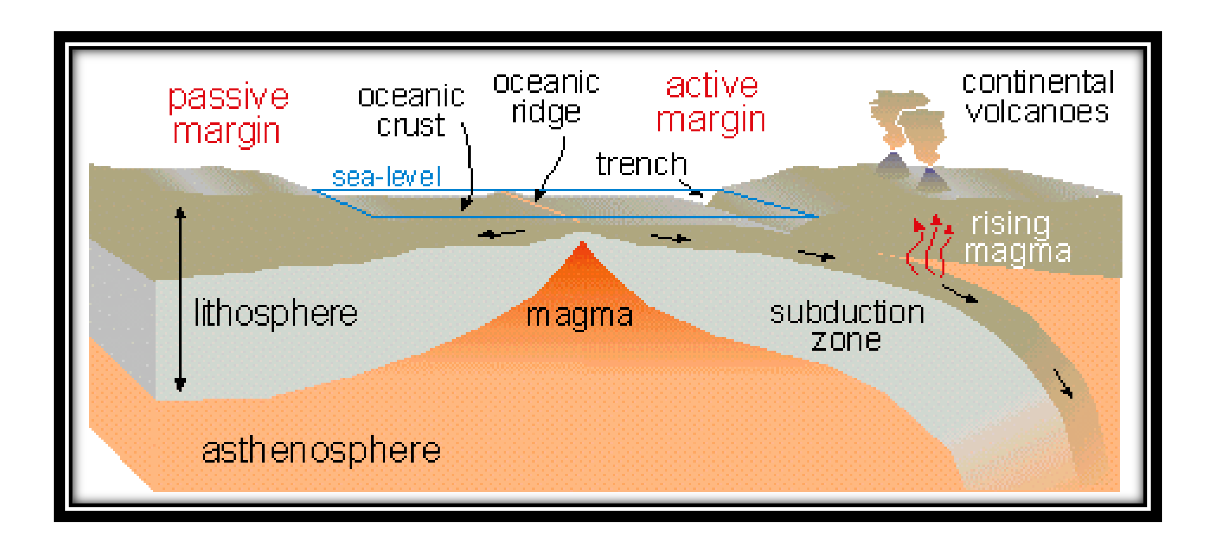
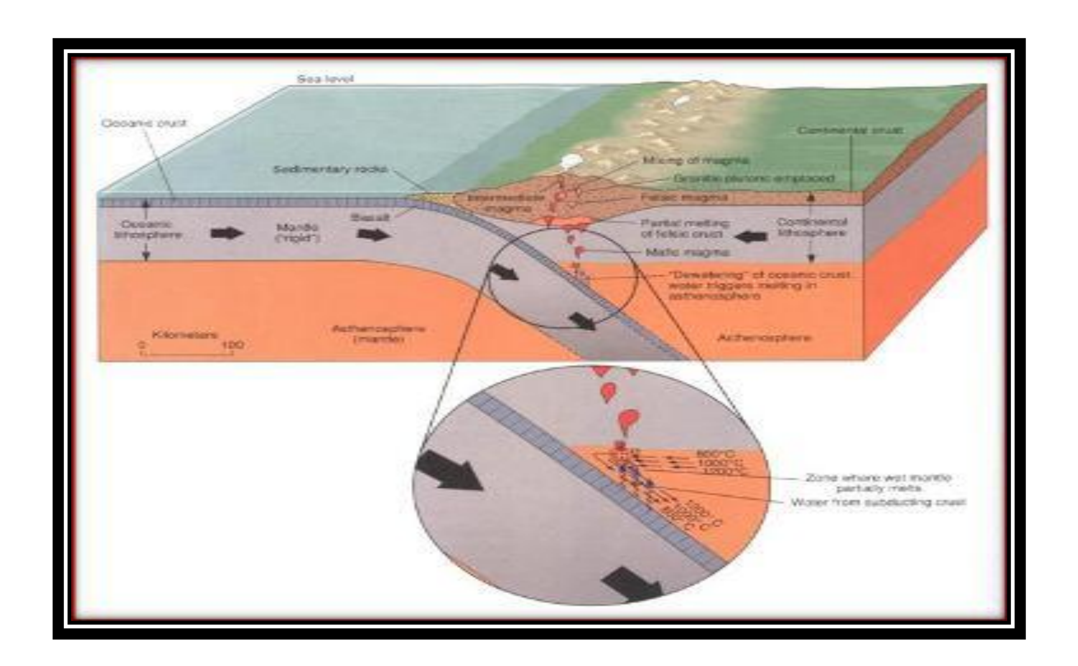


Illustration of the plate tectonic cycle Oceanic lithosphere created by magma rising from the asthenosphere. Plates move away from the oceanic ridge and descend beneath a trench at the subduction zone.

وتتواجد معظم أقواس الجزر البركانية فى الوقت الحالي فى حوض المحيط الهادى وتشمل جزر الأليوشن Aleutian Islands وقوس كرماديك- تونجا Kermadec Tonga arc وجزر اليابان والفلين ، بينما تتواجد أقواس جزر سكوتيا والأنتيل (كاريبى) Scotia and Aleutian island arcs فى حوض المحيط الأطلنطي . الحدود المحيطية - القارية: عندما يتقارب لوحان أحدهما محيطي والأخر قارى ، فإن اللوح المحيطي الأكثر كثافة يندس تحت اللوح القارى على امتداد حد لوح محيطي- قارى oceanic – continental plate boundary. ويكون اللوح المحيطي الهابط الجدار الخارجي للخندق المحيطي ، كما هو الحال فى الحدود المحيطية – المحيطية.

وعندما يهبط اللوح المحيطي البارد، والمحتوى على الماء، والأعلى فى الكثافة فى الغلاف اللان (الأسثينوسفير) الساخن، فإنه يحدث انصهار وتتكون صهارة . وتصعد تلك الصهارة تحت اللوح القارى العلوى الراكب، لتطفح عند السطح لتكون سلسلة من البراكين الأنديزيتية (مع القليل من الداسيت والريوليت) تعرف بالقوس البركانى القارى volcanic arc continental، أو تتداخل في العمق في الحافة القارية على هيئة بلوتونات plutons (خاصة الباثوليثات).

وتكرن تجمعات الصخور النارية فى الأقواس البركانية القارية أكثر سيليكية (فلسية) من تلك الموجودة فى أقواس الجزر، لأن الصهارة المتكونة في الوشاح ربما تهضم وتبتلع القشرة القارية المنصهرة أثناء عملية التمثل . وتوجد فى تلك الأحزمة الصهارية صخور متحولة، تنشأ نتيجة إعادة التبلور تحت درجات الحرارة المرتفعة والضغوط المنخفضة. وتحدث هذه الظروف لأن السوائل الساخنة تصعد بالقرب من السطح، حيث تسببارتفاع درجات حرارة هذه البيئة المنخفضة الضغط .



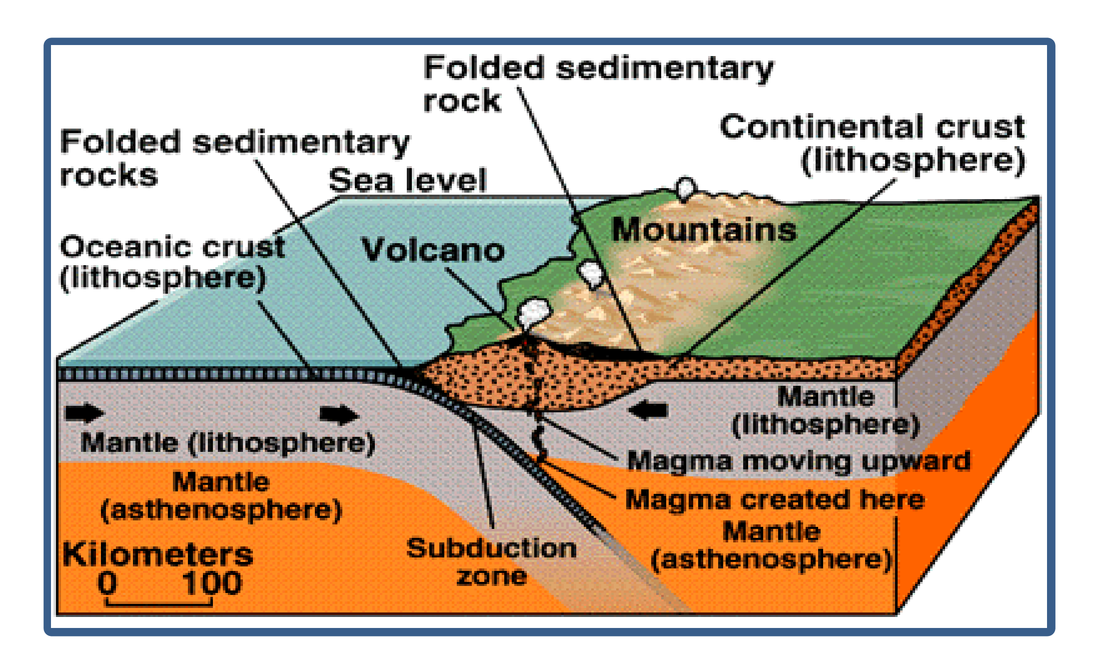
تكون الصهير عند الحافات التقاربية. الصهير القاعدي (Mafic) يتولد في الغلاف الضعيف فوق الغلاف الصخري المحيطي الغائر، أما الصهير الحامضي (Felsic or Silicic) فيتكون أسفل القشرة. الإذابة الجزئية للصخور فوق القاعدية (Ultramafic) المبللة تحدث في نطاق درجة حرارته أكثر من (١٠٠٠ درجة مئوية) (Plummer *et al*., 2003).

وتمتد أقواس الجزر موازية للخنادق المحيطية وعلى مسافة يمكن مقارنتها بزاوية ميل اللوح الهابط المندس . فتكون الأقواس البركانية أبعد عن الخندق عندما تكون نطاقات الاندساس قليلة الميل، بينما تكون الأقواس البركانية أقرب من الخندق نتيجة اندساس اللوح بميل حاد . ويمثل شاطئ المحيط الهادى لأمريكا الجنوبية مثالا مميزا لحد لوح محيطي- قارى، حيث يندس لوح نازكا المحيطي تحت لوح أمريكا الجنوبية . كما تقدم سلسلة جبال الجحر الأحمر بمصر مثالا لاندساس لوح محيطي تحت لوح آخر قارى فى زمن ما قبل الكمبرى ليكون تلك السلسلة من الجبال الممتدة موازية البحر الأحمر بمصر.

<u>الحدود القارية- القارية:</u>

ينتج عنه سلاسل جبلية عالية دون أغوار(جبال الهيمالايا).

عندما يتقارب لوحان قاريان على امتداد حد لوح قارى - قارى continental plate boundary - continental فإن أحد اللوحين قد ينزلق جزئيا تحت الآخر، ولكن لا يندس أى من اللوحين بسبب كثافتهما المنخفضة وتساويهما فى السمك الكبير ويبقيان طافيان . وقبل أن يحدث التصادم القارى، فإن القارات تكون فى أول الأمر مفصولة عن بعضها لبعض بواسطة قشرة محيطية تندس تحت إحدى القارتين .

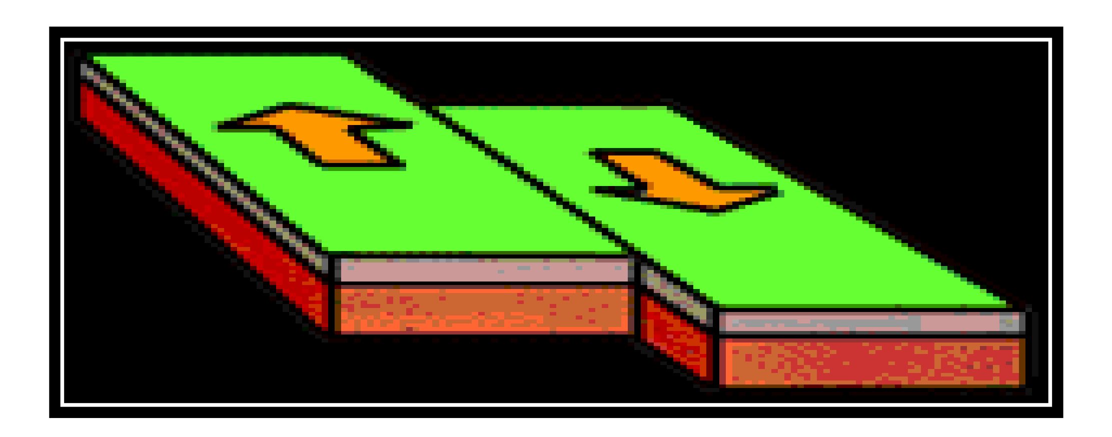


ويتميز هذا الحد القاري بمميزات **الحد القاري – المحيطي** مع تكون خندق محيطي عميق وقوس بركاني. وفي النهاية، فإن القشرة المحيطية تستهلك كلية وتصطدم القارتان. ويتكون نطاق عريض يتميز بالتشوه الشديد عند حد التصادم، حيث تطحن القارتان كلا منهما الأخرى. ويتميز هذا الحد بوجود حزام من الجبال مقطوع بعديد من صدوع الدسر thrust faults وزيادة سمك القشرة القارية بدرجة كبيرة فى نطاق الاصطدام .

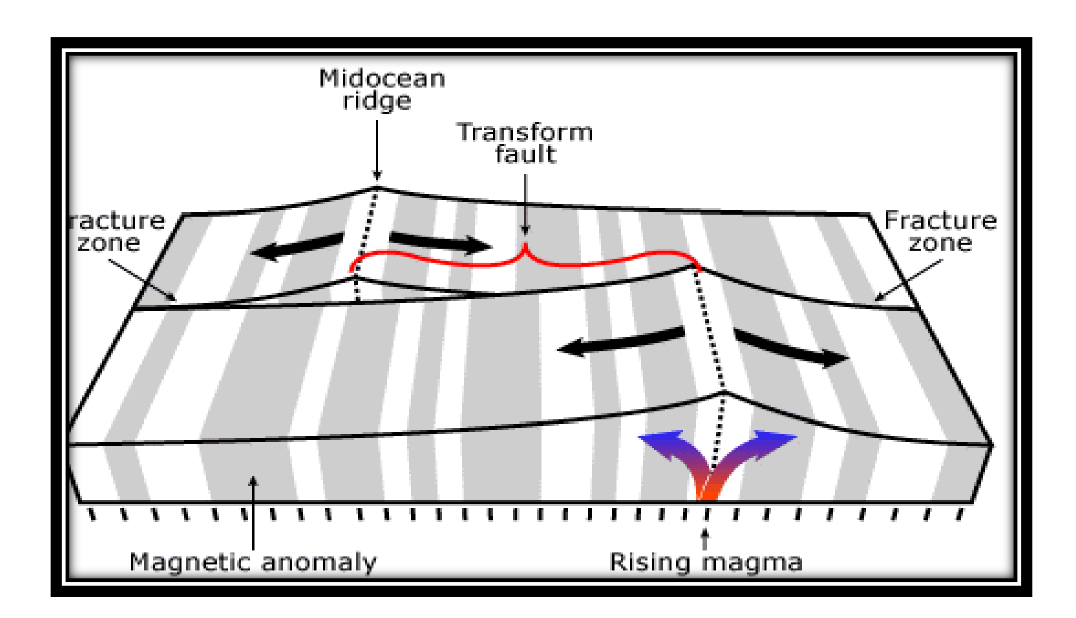
وتمثل جبال الهيمالايا مثالا لتصادم القارات الذى بدأ منذ ٤٠ - ٥٠ مليون سنة، حيث اصطدم لوح الهند مع اللوح الأ وروآسيوى. وما زالت عملية رفع الصخور مستمرة مع التصدع وعديد من الزلازل الكبيرة المستمرة حتى الآن، مثل زلزال باكستان الذى حدث يوم السبت ٨ أكتوبر ٢٠٠٥ م وبلغت قوته ٧,٦ على مقياس ريختر وراح ضحيته ما يقرب من أربعة وسبعين ألف قتيل وحوالى مائتى ألف جريح، كما شرد ما يترب من ٤ مليون نسمة.

٣ . الحدود الناقلة :

تعتبر الحدود الناقلة transform boundaries أحد أنواع حدود الألواح . وتوجد تلك الحدود على امتداد الصدوع الناقلة، حيث تنزلق الألواح أفقيا بالنسبة لبعضها البعض موازية تقريبا لاتجاه حركة اللوح . وبالرغم من أنه لا يتكون أو يستهلك غلاف صخرى على امتداد الحد الناقل، إلا أن الحركة بين اللوحين تتسبب فى وجود نطاق من الصخور المحطمة بشدة، وعديد من الزلازل ضحلة البؤرة .



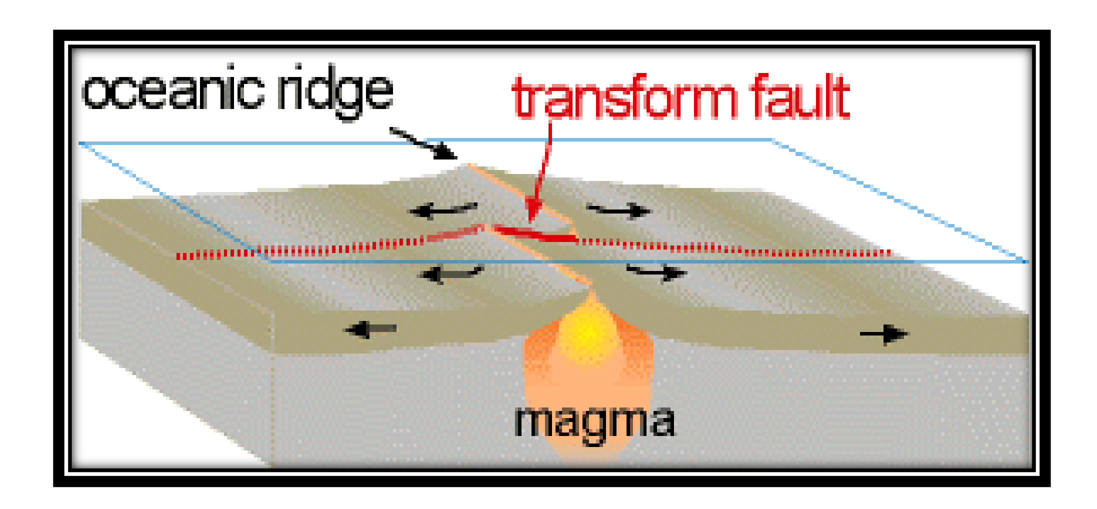
والصدوع الناقلة transform fault هى صدوع رأسية تقريبا، مضربية الانزلاق تقطع الغلاف الصخرى . وهى نوع خاص من الصدوع ينقل أو يغير نوع معين من الحركة بين الألواح إلي نوع آخر من الحركة . وتصل غالبية الصدوع الناقلة بين جزئين من الحيود المحيطية، إلا أن بعضها يصل أيضا بين الحيود المحيطة والخنادق المحيطية، وكذلك بين الخنادق والخنادق . وعلى الرغم من أن معظم الصدوع الناقلة تقع في قشرة محيطية وتكون مميزة بنطاقات تكسير، إلا أنها قد تمتد أيضا في القارات.



Formation of the transform fault

وتشمل صدع سان أندرياس San Andreas fault في كاليفورنيا أحد الأمثلة المعروفة للصدوع الناقلة، حيث يفصل هذا الصدع بين لوح المحيط الهادي ولوح أمريكا الشمالية. ومن المعروف آن عديذاً من الزلازل التى تؤثر فى كاليفورنيا هى نتيجة الحركة على هذا الصدع . ويمثل نطاق صدع البحر الميت المقابل لصدع سان أندرياس فى النصف الشرقى للكرة الأرضية . ويمتد

نطاق صدع البحر الميت عبر فلسطين، مما أدى إلي طوبوغرافية مميزة للمنطقة التى تضم أحواض خليج العقبة والبحر الميت وبحر الجليل .



ب حركة الألواح :

تلقى فكرة حركة الألواح قبولا واسعا بين الجيولوجيين، على الرغم من أن أسباب تلك الحركة مازالت محل جدل حتى الآن . وتتحرك الألواح بعيدا عن حيود وسط المحيط أو أى محور انتشار. بينما تتحرك بعض الألواح ناحية الخنادق المحطية .

وسنتناول فيما يلى الحركات النسبية والمطلقة للألواح وميكانيكية تحرك الألواح :

١-الحركة النسبية للألواح:

من المعروف أن كل الألواح تتحرك . لذلك لا يوجد كتلة فوق سطح الأرض غير متحركة تماما يمكن استخدامها كمرجع لتقدير حركة كل الأجزاء الأخرى المتحركة . ولقد أثبتت بعض الأدلة أن حيود وسط المحيط تتحرك فعلا . فعندما يوجد لوحان متلامسان، فإن حركتهما النسبية تحدد ما إذا كان الحد بينهما نطاق انتشار أو نطاق اندساس أو صدع ناقل.

ولكن ما السرعة التى تتحرك بها ألواح الكرة الأرضية وفى أى اتجاه تتحرك؟ وهل تتحرك كل الألواح بمعدل سرعة واحد؟ . يمكن حساب معدل تحرك الألواح بطرق عديدة، ولكن أقل الطرق دقة هى طريقة تحديد عمر الرواسب الموجودة مباشرة فوق أى جزء من أجزاء القشرة المحيطية، وقسمة هذا العمر على المسا فة من حيود الانتشار، وتعطى تلك الحسابات متوسط معدل تحرك اللوح .

وهناك طريقة أكثر دقة تشمل تحديد كل من متوسط معدل التحرك والحركة النسبية ، عن طريق تحديد عمر الانعكسات المغناطيسية فى قشرة قاع المحيط. وتشير المسافة بين محور الحيد المحيطي وأى انعكاس مغناطيسى إلي عرض قاع المحيط الجديد الذى تكون خلال تلك الفترة

الزمنية . وهكذا فإنه كلما زاد عرض شريط قاع المحيط، كانت السرعة التى تحرك بها اللوح أكبر . وبهذه الطريقة، فإنه يمكن تحديد متوسط معدل التحرك الحالي والحركة النسبية ، بالإضافة إلي متوسط معدل التحرك فى الماضي، عندما تتم قسمة المسافة بين الانعكاسات على الزمن المنقضي بين تلك الانعكاسات.

أن معدل التحرك يتغير من لوح إلى آخر . أن الجزء الجنوبى الشرقي من لوح المحيط الهادئ ولوح كوكس هما أسرع الألواح تحركا، بينما اللوحان العربى والجزء الجنوبى من اللوح الأفريقى أكثر بطئا .

كما يمكن أيضا تقدير متوسط معدل التحرك وكذلك الحركة النسبية بين أى لوحين بامتخدام تقنية أشعة الليزر. وعندما تبتعد الألواح عن بعضها البعض فإن شعاع الليزر يأخذ وقتا أكبر ليتحرك من المحطة المرسلة إلي القمر الصناعى الثابت ثم إلي المحطة الستقبلة . ويستخدم هذا الوقت الذى انقضى فى حساب معدل الحركة والحركة النسبية بين اللوحين.

<u>٢ . الحركات المطلقة للألوح:</u>

إن حركة الألواح المستنتجة من الانعكاسات المغناطيسية والأقمار الصناعية والليزر هى الحركة النسبية للوح ما بالنسبة للوح آخر . فعندما يتحرك لوحان ناحية بعضهما البعض بسرعة ٢ سم/ سنة للوح الأول و ٦ سم / سنة للوح الثانى فإن معدل التقارب بين اللوحين يكو ن ٨ سم / سنة . و لكي نحصل على الحركة المطلقة، فإنه يجب أن نجد مرجعا ثابتا يمكن حساب معدل حركة اللوح واتجاهه مثل وجود أى نقطة غير متحركة على سطح الوشاح فى باطن الأرض. ويمكن اتخاذ النقاط الساخنة hot spots كنقاط مرجعية . وتعرف النقاط الساخنة بأنها مواقع نقاط صغيرة فوق سطح الأرض، تصعد إليها ببطء أعمدة مستقرة من تيارات الصهارة التى تنشأ على أعماق كبيرة فى الوشاح (بلومات وشاح mantle plumes، وتكون تلك الأعمدة براكين أو فيوضاً بازلتية .

وتعتبر سلسلة جزر إمبرور سيمونت Emperor Seamount Chain بهاواى أحد الأمثلة المهمة على النشاط البركانى فوق نقطة ساخنة . وتوجد البراكين النشطة فى هذه السلسلة من الجزر البركانية فوق جزيرة هاواى Hawaii island . وقد نشأت بقية الجزر والجبال البحرية فى تلك الجزر من أصل بركانى أيضا. وهى تكون أقدم عمرا كلما تقدمنا فى اتجاه غرب ـ شمال غرب على امتداد سلسلة هاواي.

وتساعد البلوعات والنقاط الساخنة الجيولوجيين فى شرح بعض النشاط الجيولوجى الذى يحدث داخل الألواح ، حيث إن معظم النشاط الجيولوجى يحدث عند حدود الألواح أو بالقرب منها . وبالإضافة إلي ذلك، فإذا كانت بلومات الوشاح ثابتة تقريبا بالنسبة لمحور دوران الأرض ـ على الرغم من أن بعض الدلائل تدل على عكس ذلك- فإنه يمكن استخدام البلوعات كنقاط مرجعية لتحديد خطوط العرض القديمة .

٣ . التغير فى سرعة الألواح :

تكون السرعة النسبية لبعض الألواح الكبيرة أكبر بكثير من سرعة الألواح الأخرى. ويبدو أن هذا الاختلاف فى سرعة الألواح مرتبط بحجم الغلاف الصخرى القارى، فالألواح التى تتكون من غلاف صخرى محيطي فقط تكون سرعتها النسبية أكبر، مثل سرعة ألواح المحيط الهادئ ونازكا وكوكوس ، بينما تكون السرعة النسبية للألواح التى لها غلاف صخرى قارى سميك أقل، مثل اللوح الأفريقى ولوح أمريكا الشمالية والأوروآسيوى.

ويرجع السبب الثانى فى تغير سرعة الألواح إلى نوعية الحركة على جسم كروى ، حيث يفترض أن كل النقاط فوق اللوح الواحد تتحرك بالسرعة نسفها، ولكن هذا غير صحيح. وقد يكون هذا الاعتقاد صحيحا، إذا كانت ألواح الغلاف الصخرى منبسطة وتتحرك فوق غلاف لدن (أسثينوسفير) منبسط أيضا، مثل طفو قطعة منبسطة من الخشب فوق الماء. ولكن الغلاف الصخرى يتكون من ألواح تحيط بجسم الأرض الكروى، وتكون هذه الألواح منحنية أو مقوسة وليست منبسطة .

ويمكن وصف حركة كل لوح من ألواح القشرة الأرضية فى ضوء الدوران حول محور الانتشار، حيث تعتمد سرعة كل نقطة على اللوح على المسافة بين هذه النقطة وقطب الانتشار . ونتيجة لاختلاف السرعات على اللوح الواحد، فإن عرض القشرة المحيطية الجديدة التى تحد مركز الانتشار spreading center تزداد مع زيادة المساثة بين تلك القشرة وقطب الانتشار . والنتيجة الثانية لهذا الاختلاف فى السرعات أن إسقاط مركز الانتشار الذى تتباعد الألواح المحيطية على امتداده يمر عبر قطب الانتشار،حيث يماثل هذا الإسقاط خط طول يمر خلال قطب الانتشار، بينما يقع كل صدع ناقل على خط مشابه لخط عرض حول قطب الانتشار .

٤ ــ الميكانيكية المحركة لتكتونية الألواح:

لقد كانت العقبة الرئيسية أمام قبول نظرية الانجراف القارى عدم وجود الميكانيكية المحركة لشرح حركة القارات . وعندما اتضح أن القارات وقيعان المحيطات تحركت مع بعضها وليست منفصلة عن بعضها البعض، وأن قشرة محيطية جديدة تكونت عند حيود الانتشار من الصهارة الصاعدة، قبل معظم الجيولوجيين وجود نوع من نظام الحمل الحرارى كعملية أساسية مسئولة عن حركة الألواح . وعلى الرغم من ذلك فما زال التساؤل قائما، عن الميكانيكية التى تسبب حركة الألواح .

وكما سبق أن أوضحنا، فإنه يمكن وصف الوشاح بأنه مادة ساخنة صلبة قادرة على الانسياب وبسرعة تصل لعدة سنتيمترات فى العام .وقد اقترح نموذجان لشرح حركة الألواح، يشتمل كل منهما على خلايا حمل حرارية thermal convection cells. وفى أحد النموذجين، ينحصر وجود خلايا الحمل الحرارى فى الغلاف اللدن (الأسثينوسفير)، أى فى الجزء العلوى من الوشاح فقط ، بينما تشمل تلك الخلايا كل الوشاح فى النموذج الثانى .

وفى كلا النظامين يميز حيود الانتشار spreading ridges الأجزاء الصاعدة من خلايا الحمل الحرارى، بينما توجد الخنادق المحيطية عند الأماكن التى تهبط فيها خلايا الحمل الحراري، وتعود مرة أخرى إلي باطن الأرض . وهكذا يتم تحديد مواقع حيود الانتشار والخنادق المحيطية بواسطة خلايا الحمل الحرارى. وهكذا فإن كل لوح يقابل خلية حمل حرارى واحدة.

وعلى الرغم من أن معظم الجيولوجيين يتفقون على أن باطن الأرض يلعب دورا مهما فى حركة الألواح، إلا أن هناك مشكلات تواجه كلا من النموذجين السابقين . والمشكلة الأساسية التى تواجه **النموذج الأول** هو صعوبة شرح مصدر الحرارة اللازم لخلايا الحمل، ولماذا تنحصر هذه الخلايا فى الغلاف اللدن (الأسثينوسفير)، بينما يعتقد فى **النموذج الثانى،** أن مصدر الحرارة يأتى من اللب الخارجى للأرض . ولكن لا زالت ميكانيكية انتقال الحرارة من اللب الخارجى إلي الوشاح محهولة حتى الآن، وكذلك لماذا تشمل خلايا الحمل الحرارى كلا من الوشاح السفلى والغلاف اللدن؟. ويقترح بعض الجيولوجيين أنه بالاضافة إلي خلايا الحمل الحرارى داخل الأرض، فإن حركة الألواح تحدث جزئيا أيضا بسبب ميكانيكية أخرى تشمل ما يعرف بجذب أو سحب اللوح slab - pull أو دفع الحيدridge push . وتعتبر الجاذبية الأرضية هى العامل المحرك فى كل من الميكانيكيتين المقترحتين ، بالاضافة إلي الفروق فى درجات الحرارة داخل الأرض. ففى ميكانيكية "جذب اللوح " يجذب اللوح البارد المندس من الغلاف الصخرى بقية اللوح معه أثناء هبوطه واندساسه فى الغلاف اللدن، نظراً لأنه أعلى كثافة من صخور الغلاف اللدن الأكثر دفئا والمحيط باللوح الهابط. وعندما يهبط الغلاف الصخرى لأسفل، فإنه يحدث انسياب مقابل لأعلى فى حيود الانتشار نتيجة تصاعد الصهارة.

وتعمل في الوقت نفسه مع ميكانيكية "جذب اللوح" ميكانيكية أخرى، هى "دفع الحيد"، فنتيجة لصعود الصهارة فإن الحيود المحيطية تكون أعلى من القشرة المحيطية المجاورة. ويعتقد أن الجاذبية تدفع الغلاف الصخري المحيطي نتيجة وزن الحيد المرفوع بعيدا عن حيود الانتشار وفي اتجاه الخنادق لمحيطية. ولم يتضح بعد إلي أي حد يمكن أن تساهم أي من الميكانيكيتين في حركة الألواح. ولذلك، فإن نظرية تكتونية الألواح لم تكتمل حتى الآن.

- **تكتونية الألواح والرواسب المعدنية:**

تؤثر تكتونية الألواح - بالإضافة إلي كونها مسئولة عن المعالم الرئيسية للقشرة الأرضية - فى تكوين وتوزيع بعض مصادر الثروة الطبيعية. ولذلك يستخدم الجيولوجيون نظرية تكتونية الألواح فى البحث عن رواسب معدنية جديدة وفى شرح تواجدات الرواسب المعروفة.

الفصل السابع عشر: تكتونية القشرة الأرضية وسلاسل الجبال



تغطي المحيطات حوالي ٧١% من سطح الأرض. ويوجد أسفل أحواض المحيطات قشرة محيطية يقل عمرها عن ٢٠٠ مليون سنة.وتنشأ أحواض المحيطات عند حيود وسط المحيط، حيث يتكون باستمرار غلاف صخري جديد من الصهير الصاعد من الوشاح، والذي ينتشر ويبرد. حيث إن الغلاف الصخري المحيطي يستهلك حينما يهبط في نطاقات الاندساس، فإن قيعان المحيطات الحالية، لا يمثل إلا ٤% فقط من تاريخ الأرض، الذي يصل إلي حوالي ٤,٦ بليون سنة، لذلك يجب فحص صخور القارات التي تشمل معظم التاريخ الجيولوجي، حيث يعتقد أن صخور القشرة الرضية التي تكونت خلال الخمسمائة مليون سنة الأولى من تاريخ الأرض قد دمرت واستهلكت نتيجة قذفها بشدة بالنيازك في ذلك الوقت المبكر من تاريخ الأرض.

ويعتقد أن فترة الأربعة بلايين سنة من التطور الجيولوجي المسجلة في القشرة القارية هى فترة طويلة ومعقدة.ومع ذلك، فإننا بدأنا في تفسيرها وفهمها بطريقة أفضل اعتماداً على بعض المفاهيم المستمدة من نظرية تكتونية الألواح. ويعتقد الآن أن التشوه يتم فقط في قشرة الأرض الصلبة الخارجية أي في الغلاف الصخري الذي يتراوح سمكه بين ١٠٠ و٢٠٠كم. وهذا السمك يعتبر قليلا جداً إذا ما قورن بسمك الوشاح ولب الأرض الذي يبلغ حوالي ٦٣٠٠كم. وترجع أهمية دراسة سلاسل الجبال إلي معرفة تاريخ الأرض وتشوهها وأصل الرواسب المعدنية، بالإضافة إلي معرفة تأثير الجبال على جيولوجية وجغرافية العالم. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن رفع سلاسل الجبال يمكن أن يؤثر على المناخ في العالم، كما يغير أيضا من كيميائية المحيطات ومواقع تجمعات البترول والرواسب المعدنية أيضاً.

ويوضح البناء الجيولوجي للقارات أنها تتكون من:

(١) بقايا صخور قديمة جداً تم تعريتها داخل القارات.

٢) منظومات الجبال mountain systems بالقرب من حواف تلك القارات، والتي تشوهت في زمن أحدث. تحدث عمليات بناء الجبال عندما تصطدم الألواح القارية، حيث تتشوه وتدفع رواسب الحواف القارية في سلسلة مطوية ومتصدعة. كما تحدث عمليات بناء الجبال عندما ينصهر اللوح المحيطي المندس تحت لوح محيطي أو لوح قاري، وتصعد الصهارة في الحزام المشوه. وتتسبب تحركات الألواح أيضاً في نقل أجزاء مختلفة جيولوجياً ثم التحامها بذلك الحزام المشوه. وتؤدي التحركات لأعلى ولأسفل داخل القارات إلي نشأة أحواض داخلية

interior basins وقباب domes وبقاء الجبال القديمة التي تم تعريتها مرة أخرى. وبعيداً عن الشواطئ، فإن التحركات إلي أسفل تسبب نشأة أحواض على الرفوف القارية. ويعالج هذا الفصل، بعض التشوهات التي حدثت للقشرة الأرضية خلال الأربعة بلايين سنة الأخيرة من عمر الأرض.

- بعض التراكيب التكتونية الإقليمية:

تغطي القارات حوالي ثلث سطح الأرض. **ويمكن تقسيم الصخور التي تكون القشرة القارية إلي مجموعتين متميزتين:**

١ – صخور رسوبية غير مشوهة: وهى تشمل غطاء الصخور الرسوبية الذي تم ترسيبه ولم يتشوه بدرجة كبيرة.

٢ – صخور مشوهة: وهى تشمل المناطق المشوهة، والتي تتكون من صخور رسوبية ونارية ومتحولة تعرضت لقوى أرضية شديدة خلال العصور الجيولوجيةالمختلفة.

وتقع معظم القشرة القارية، سواء المنكشفة أو صخور القاعدة المدفونة تحت غطاء الصخور الرسوبية المتطبقة (وأحياناً صخور بركانية) ضمن صخور المجموعة الثانية، أي الصخور التي تشوهت وتغيرت نتيجة قوى القشرة الأرضية. وتمثل صخور القاعدة basement rocks تجمعاً من الصخور النارية والمتحولة (عادة ما تكون من صخور ما قبل الكمبري أو الباليوزوي). ولذلك ترتبط بقوة عملية التجبل orogeny – وهى عمليات بناء الجبال والتي تشمل الطي والتصدع والنشاط الناري والتحول – بتطور القارات.

ويلاحظ أن توزيع مكونات القارات لا يكون عشوائياً، فتميل معظم الصخور التي تشوهت خلال سلسلة الأحداث القديمة لأن تتواجد داخل القارات، حيث أصبحت مستقرة نسبيا الآن، ويتم تعريتها لتصبح مسطحة تقريباً. ويوجد خارج هذه المناطق القديمة أحزمة الجبال النشطة الأحداث عمرا، والتي تكون معظم أنظمة الجبال الموجودة حالياً. وتقع أحزمة الجبال هذه عند حواف القارات حيث توضح ملامحها الطوبوغرافية أنها تتواجد في أحزمة ضيقة وطويلة، مثل حزام الكورديليرا الذي يمتد على الحواف الغربية لأمريكا الشمالية وحزام الأبالاش الذي يمتد على الحافة الشرقية لأمريكا الشمالية، كما تمتد سلاسل الألب – الهيمالايا عبر الحدود الجنوبية لآسيا وأوربا. وتميل معظم أحزمة الجبال التي تشمل مدودا جبلية مرتفعة لأن تكون أحدث عمرا من تلك الجبال المنخفضة تضاريسيا. فقد بدأت عملية بناء جبال الهيمالايا، والتي تشمل أعلى أجزمة الجبال في العالم، من حوالي أربعين إلي خمسين مليون سنة فقط، ومازالت في حالة نشاط حتى الآن، بينما توقفت عملية بناء جبال أحزمة الأبالاش المنخفضة تضاريسيا منذ حوالي ٢٥٠ مليون سنة. وتنمو القارات عموماً من تجمع أجزاء من ألواح صغيرة بالتصادم، علاوة على إضافة مواد جديدة عند اندساس الألواح المحيطية. وتمثل الأحزمة الموجودة على حواف القارات المفتاح الذي يكشف العملية التي تؤدي إلي تشوه القشرة الأرضية القديمة، حيث مازال يوجد بها الكثير من سجل التشوه محفوظاً في الصخور التي لم يتم تعريتها.

ـ الأجزاء الداخلية المستقرة من القارات:

تعرف الرسيخات cratons بأنها الأجزاء الداخلية المسطحة من القارات، والتي تغطي مساحات شاسعة وتكون مستقرة تكتونيا. وتتكون الرسيخات من الصخور القديمة التي تشوهت بشدة خلال زمن ما قبل الكمبري وأصبحت مستقرة منذ ذلك الوقت. وتشمل الرسيخات مساحات كبيرة تسمى دروع shields، وهى تتكون من صخور القاعدة المتبلورة القديمة جداً التي انكشفت من تلك الرسيخات. وتمثل الدروع وصخور القاعدة في الرسيخات جذور أحزمة جبال اكتملت عملية تشوهها منذ أكثر من بليون سنة مضت. ويمتد للخارج من تلك الدروع أرصفة platforms مستوية وعريضة من الصخور القديمة تكون مدفونة تحت رسوبيات وصخور رسوبية أحدث عمرا.

وهكذا تشمل الرسيخات كلاً من الدروع والرصفة المدفونة، حيث إن الأرصفة تمثل جزءا من الرسيخة. ويمثل الدرع الكندي نموذجاً لدرع ، وهو يتكون في معظمه من صخور جرانيتية ومتحولة (مثل النيس) مع صخور رسوبية وبركانية متحولة مشوهة بدرجة كبيرة. وتشير تلك التجمعات من الصخور إلي فترات بناء الجبال الشديدة خلال زمن ما قبل الكمبري، والتي أعقبها فترة طويلة من الاستقرار، حيث يدل عدم وجود تشوه حديث على استقرارها. وتشمل هذه المنطقة أحد أقدم سجلات التاريخ الجيولوجي. ويتميز الدرع الكندي بتواجد رواسب خامات الحديد والذهب والنحاس والنيكل. كما توجد دروع أخرى في اسكندنافيا وفنلندا وسيبريا ووسط أفريقيا والبرازيل وأستراليا..

ويوجد جنوب الدرع الكندي منطقة الرصيف الداخلي المعطاة بالرواسب، والتي تكون مستوية تقريبا ، وهى تشكل المنطقة الوسطى المستقرة من الولايات المتحدة. ويمثل هذا الرصيف امتدادا مستويا تقريباً تحت سطح الأرض للدرع الكندي، حيث يشمل صخور قاعدة مشابهة من ما قبل الكمبري ولكنها مغطاة في تلك المنطقة بغطاء من الصخور الرسوبية يبلغ سمكها أقل من ٢كم تقريباً تتبع حقب الحياة القديمة (الباليوزوي).

وقد وجدت رواسب الرصيف القاري في شمال أمريكا فوق صخور القاعدة المشوهة منذ ما قبل الكمبري والتي تم تعريتها تحت ظروف مختلفة. وتدل تجمعات تلك الصخور على أنها ترسبت في بحار فوق قارية ضحلة ممتدة (صخور بحرية تشمل الحجر الرملي والحجر الجيري والطفل ورواسب دلتا ومتبخرات) وفي سهول طميية أو في بحيرات أو مستنقعات (رواسب غير بحرية ورواسب فحم). وتوجد معظم رواسب خامات اليورانيوم والفحم بالإضافة إلي الغاز والنفط في الغطاء الرسوبي للرصيف المشار إليه.

ويشغل الدرع العربي النوبي Arabian – Nubian shield مساحات كبيرة تصل إلي حوالي ١٠ مليون كيلو متر مربع في شمال أفريقيا وغرب المملكة العربية السعودية، وهو مثال جيد على حدوث نشاط صهاري عند حدود ألواح متقاربة convergent boundaries.

وعلى الرغم من إجماع معظم الدراسات على أهمية دور تكتونية الألواح في نشأة الدرع العربي النوبي، إلا أنه لازال هناك خلاف بين العلماء حول ميكانيكية تكوين القشرة الرضية في هذا الدرع، حيث يعتقد بعض العلماء أنه نشأ في زمن البروتيروزوي المتأخر (٨٦٠ – ٥٦٠ مليون سنة مضت) عند حافة قارية التحمت بها عدة أقواس جزر oceanic island arcs اندفعت على امتداد أسطح صدوع دسر thrust faults تقع فوق تلك الحافة. وتتميز الحدود التي نشأت عن عمليات درز (التحام) وتصادم أقواس الجزر بوجود صخور مافية وفوقمافية والمعروفة بالأوفيوليتات ophiolites . كما استمرت عملية التشوه داخل الرسيخة craton الجديدة، مما أدى إلي تكون صخور بركانية (متوسطة إلي فلسية) وصخور جرانيتية تداخلت في الأعماق، بالإضافة إلي تكون رواسب المولاس (سحنة رسوبية تقع بين الرواسب البحرية والقارية، وتكون غير مفروزة). كما تكونت في الفترة منذ ٦٣٠ – ٥٥٠ مليون سنة مضت مجموعة من الصدوع أخذت اتجاه شمال غرب – جنوب شرق والمعروفة بنظام نجد Najd System، مما أدى إلي زحزحة الجزء الشمالي من الرسيخة العربية إلي اتجاه شمال – غرب.

- أحزمة التجبل: بناء الجبال:

الجبل هو كتلة ضخمة من الأحجار والصخور توجد على قطعة ضخمة كبيرة هي سطح الأرض الذي يتكون من نفس المادة وهي أيضا قمم مرتفعة العلو. الجبل بصورة عامة أكثر ارتفاعا من الهضبة هناك اختلاف حول تحديد الارتفاع الكافي للجبل لاعتباره جبلا فالموسوعة البريطانية تستعمل ارتفاع ٦١٠ متر عن سطح الأرض لإطلاق مصطلح الجبل على المرتفع. يعتبر جبل إفرست أعلى جبل في العالم ارتفاعه (٨٨٤٨م)، بينما يعد أعلى جبل في النظام الشمسي هي جبل اوليمبوس مونس على كوكب المريخ ارتفاعه (٢١١٧١ م).

تكون الجبال:

هنالك أربع مراحل لتكون الجبل :

- غمر البحر وترسيب مواد في قعر البحر.
- تكون طبقات متنوعة من مواد الترسيب.
- حدوث تجعد نتيجة ضغط باطني إلى أعلى.
- تراجع مياه البحر وظهور اليابسة.

أنواع الجبال:

تنتظم جبال العالم في ثلاثة أنواع هي: الجبال المنفردة، والسلاسل الجبلية، والأحزمة الجبلية.

تكثر الجبال المنفردة في المناطق البركانية، وفي البقاع التي تعرضت للحت، أما السلاسل الجبلية فهي أشرطة طويلة تمتد عشرات ومئات الكيلومترات، في حين تتألف الأحزمة الجبلية من

سلاسل متصلة وتمتد آلاف الكيلومترات، أكبرها الحزام الألبي ـ الهيمالائي، والحزام الأنديزي، وحزام سلاسل آسيا الوسطى، وحزام هوامش المحيط الهادئ.

ويغلب على الجبال السلاسل والأحزمة توزعها على هوامش القارات وسواحلها، ففي الوطن العربي تقع أهم الجبال على سواحل البحر المتوسط، مثل جبال بلاد الشام والأطلس في المغرب العربي وعلى جانبي البحر الأحمر وخليج عدن، ثم جبال عُمان، وفي أسترالية تمتد جبال الألب الأسترالية على سواحلها الشرقية، وفي أمريكا الجنوبية على سواحلها الغربية، وفي أمريكا الشمالية على سواحلها الغربية والشرقية، وفي آسيا الصغرى على سواحلها الجنوبية والشمالية. ولا تبعد جبال الألب والبيرينا في أوروبا عن البحار كثيراً، بل تساير السواحل في إيطاليا والبلقان. **وهناك سلاسل جبلية** مهمة داخل القارات ولا سيما في أوراسيا مثل جبال الكاربات والأورال والقفقاس وسلاسل آسيا الوسطى وحول هضبة التبت وامتدادها نحو جنوب شرقي آسيا، وفي أفريقيا توجد كتل جبلية في قلب الصحراء مثل جبال الأحجار وتيبستي.

أشكال الجبال:

١ - الجبل المتطوى : Folded Mountain

شكل ينشأ عن التثني في طبقات الأرض، مثال ذلك أن قشرة الأرض المنبسطة يقع عليها الضغط من جانبيها، فتنحصر الطبقة بينهما وينتج عن ذلك أن الطبقة تضيق بالوضع الذي هي فيه، تريد أن تنكمش فلا تستطيع، وإذن فهي تنثني وتظهر فيها طية أو طيات تماماً كالذي يحدث في السجادة، تدفعها أفقياً من طرفيها فتظهر فيها الثنية من بعد الثنية، والطية الحادثة ترتفع عن مستوى السجادة وهكذا هي في الصخر، ترتفع عن سطح الأرض فتظهر كالقبة، ويسمى الجبل الناشئ بالجبل المتطوي أي الذي لو كشفت عن باطنه لوجدته يتألف من طية في الصخر من بعد طية. ومن أمثلة ذلك جبال الأطلسو في المغرب، وجبال الألب في سويسرا وجبال اليورال في روسيا.

٢ -الجبل المتصدع: rift mountain

وهو جبل يعطيك وجها منه كالصفحة انبساطا. وهو ينشأ عندما تعمل القوى الباطنية في صخر القشرة الأرضية بحيث لا تكتفي بثنيها، فيكون من جراء ذلك كسرها وانصداعها، ونصف منها يصعد وهو الجبل ونصف يهبط فلا تراه العين أو قد تراه ولكن منخفضاً.

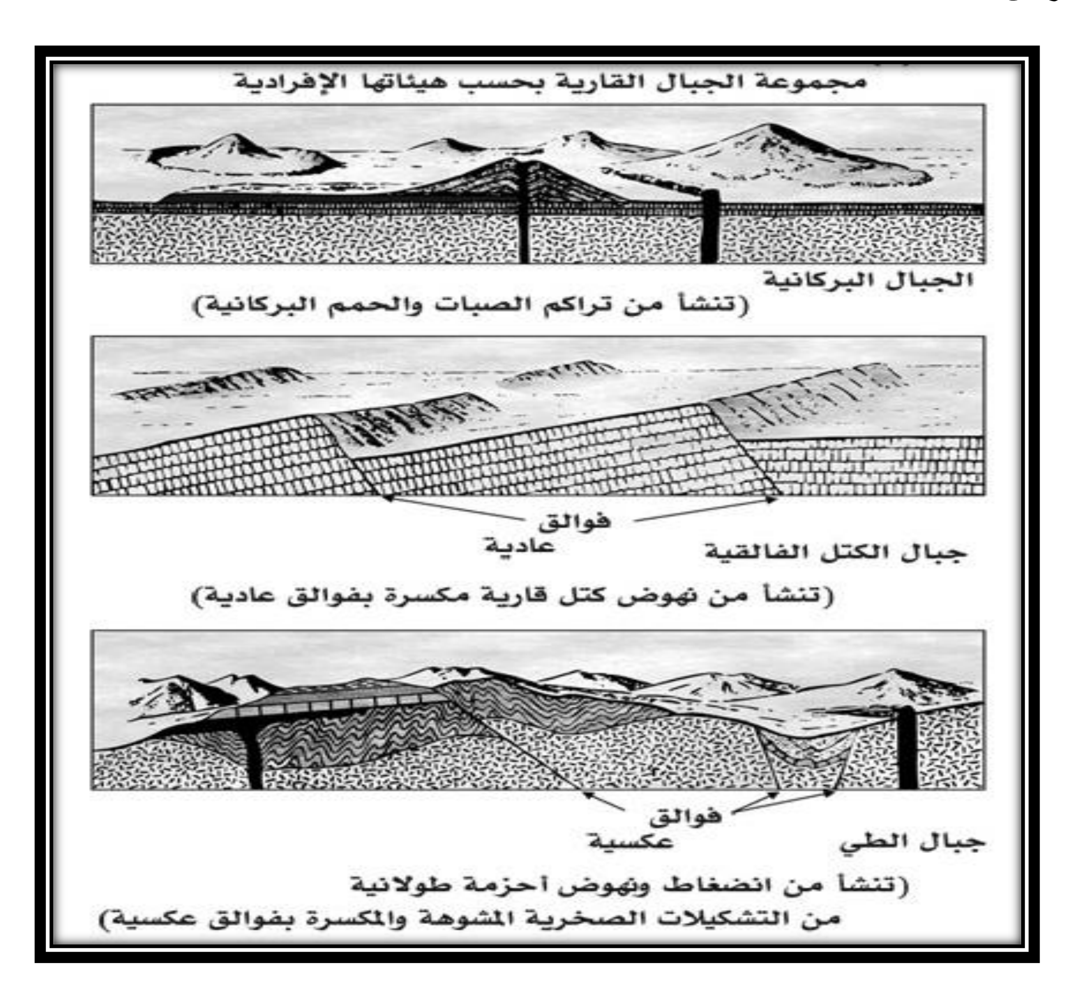
٣ الجبل البركانى: Volcano mountain

ويبدأ تكونه بخروج حمم من بطن الأرض ينثقب لها سطح الأرض، وتتراكم هذه الحمم ما ظل البركان في نشاطه وتبرد ويتألف منها الجبل، وقد اطلع الناس على جبل بركاني ظهر حديثاً في

المكسيك وبالتحديد في عام ١٩٤٣ بدأ بأن خرج من أرضه سحابة كثيفة من دخان، ومضى يوم فإذا بكومة من صخر ورماد تكونت حول الفم الذي خرج منه الدخان وكان ارتفاعها ٣٠ م وظل البركان يقذف حممه وظل الركام يزيد، وبلغ ارتفاعه ١٥٠ م بعد أسبوعين، وبلغ ٣٢٠ م في ثمانية أشهر وتوقف نشاط البركان في عام ١٩٥٢ وكان ارتفاعه قد بلغ ٤٥٠ م. والجبال البركانية لا يخفى شكلها على أحد، فشكلها كشكل المخروط أو القمع الهائل والكثير من جبال الأرض جبال بركانية عظيمة تكونت قبل ظهور الإنسان على ظهر الأرض بملايين السنين. ومن أشهر هذه الجبال جبل كليمانجارو، وهو نشأ في سهول أفريقيا عند خط الاستواء وارتفاعه يبلغ ٦٥٠٠ قدماً.

٤ الجبال المقببة: Domed mountains

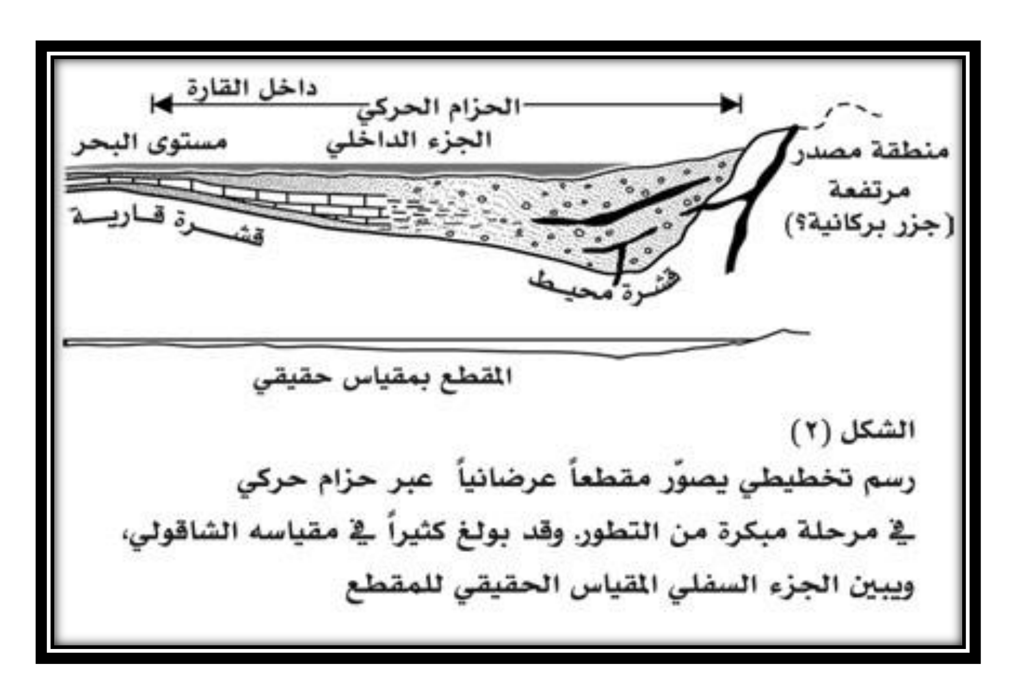
وهي جبال كادت أن تكون جبالا بركانية، وذلك أنها بدأت بأن سرى الصخرالمنصهر في بطن الأرض يبحث لنفسه مخرجا من سطحها فلم يوفق، فجرى الصخر المنصهر في شقوق عديدة من الأرض، ولكنه لم يقو على اختراق القشرة كلها، فتكون نتيجة ذلك قبة، وهو الجبل فوق سطح الأرض.



نظريات تكوُّن المنظومات الجبلية:

استحوذ تطور منظومات الجبال وتكونها على اهتمام العلماء، وكانت موضوعاً لكثير من الدراسات التي تضمنت نظريات عدة أهمها نظريتان: **الأولى قديمة**، وتفترض تطور الجبال في مقعرات جيولوجية geosynclines تتراكم فيها رواسب كثيرة، مع حدوث هبوط تدريجي في قاعها، يلي ذلك خضوعها لحركات جانبية ضاغطة، فهي إذن تفترض حدوث حركات شاقولية (رأسية) وأخرى جانبية، في القشرة الأرضية، الأولى ثقالية تسبب الهبوط subsidence والثانية تمددية ضاغطة، تسبب التشوه والنهوض، وكان أول من وصفها العالم دانا Dana عام ١٨١٣ في أثناء دراسته لجبال الابالاش. وكانت هذه النظرية تتفق مع الاتجاه الفكري الذي يفترض أن القارات والمحيطات هيئات قديمة وثابتة للقشرة الأرضية.

أما النظرية الثانية فهي حديثة وتحليلية شاملة، وضعت وفق معطيات الدراسات الحديثة ومفاهيم تكتونية الصفائح التي تشرح المراحل التاريخية لتطور القارات والمحيطات. فنشوء المنظومات الجبلية مرتبط ارتباطاً وثيقاً بحركة صفائح الغلاف الصخري، وهو يتم في نطاق هوامش التصادم، حيث تهبط هذه الهوامش تحت صفائح القارات لتنغرز في المعطف، وتتكون من هبوطها خنادق المحيطات التي تصبح مجالاً لتراكم الرواسب فوق أشرطة طولانية هابطة من قشرة الأرض تدعى بالأحزمة الحركية mobile belts.

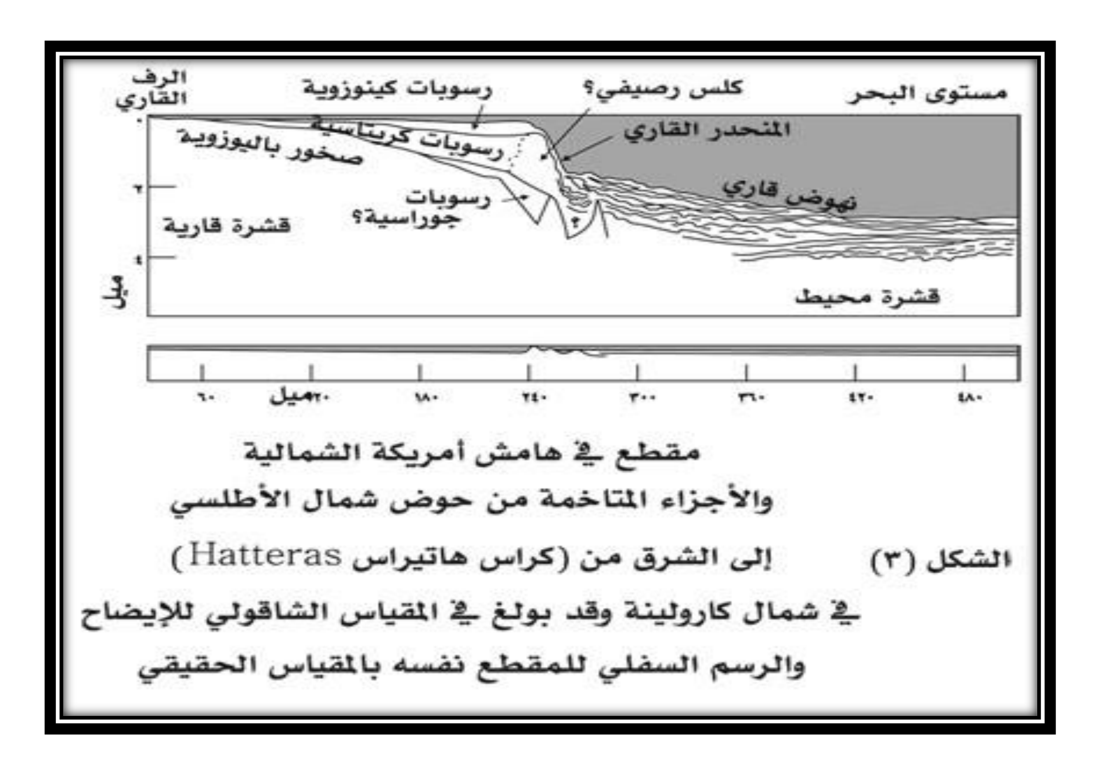


الشكل (٢)
رسم تخطيطي يصوّر مقطعاً عرضانياً عبر حزام حركي في مرحلة مبكرة من التطور. وقد بولغ كثيراً في مقياسه الشاقولي، ويبين الجزء السفلي المقياس الحقيقي للمقطع

افترض وجود هذه الأحزمة في أثناء الدراسات التي أُجريت على جبال الابالاش، وقد لوحظ فيها أن ثخانه رسوباتها الباليوزوية تتجاوز ١٢٠٠٠ متر، كما لوحظ أن هذه الرسوبات تتناقص ثخانتها تدريجياً نحو الغرب باتجاه داخل القارة، وتنخفض فيها إلى حدود تبلغ العشر تقريباً. وتشير الدلائل المستحاثية إلى أن توضع معظمها كان في بيئات بحرية غير عميقة، إذ بلغت

ثخانتها حداً يفوق كثيراً أعظم الأعماق البحرية، لذلك افترض حدوث الهبوط في هذه الأجزاء من القشرة الأرضية في أثناء التراكم الرسوبي، وكلما ازداد الهبوط حدث تراكم أكبر.

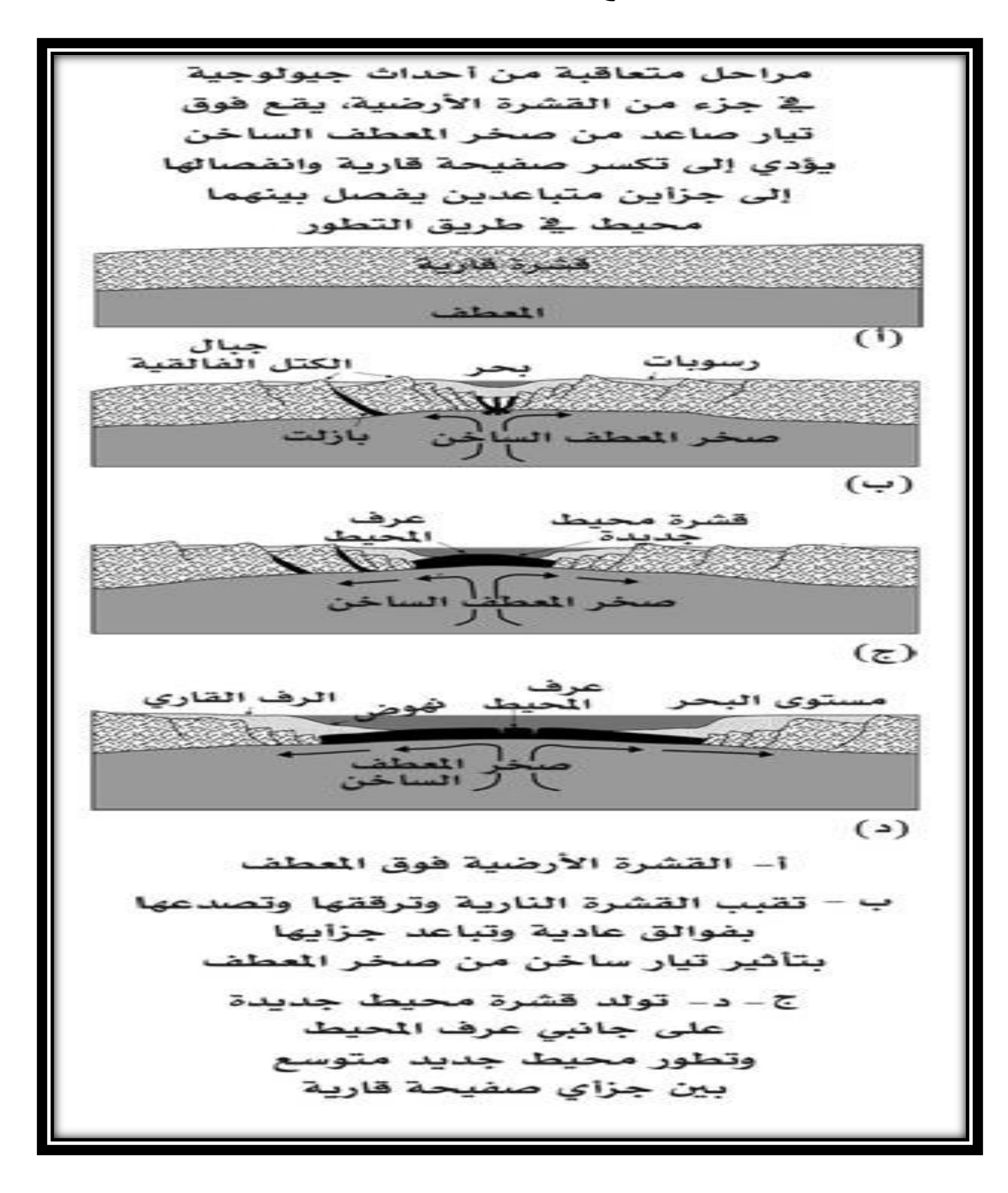
وثمة أماكن كثيرة من القشرة الأرضية تناسب التراكم الرسوبي في الوقت الحاضر، كما توجد أماكن أخرى كانت في الماضي مسرحاً للتراكم، بما في ذلك القارات، لكن ينحصر تطور الأحزمة الحركية بالقرب من حواف الرفوف القارية edges of continental shelves أو قرب أقواس الجزر island arcs . وفي مثل هذه الأماكن تقوم القارات وأقواس الجزر بدور المصادر الرئيسية لإمداد الأحزمة الحركية بالرسوبات. وبما أن الأحزمة الحركية في الأنظمة الجبلية هي أشرطة طولانية من الصخور الرسوبية والبركانية المشوهة، فإن أماكنها يجب أن تقع في نطاقات تصادم صفائح الغلاف الصخري، أي بين القارات والمحيطات وبمحاذاة أقواس الجزر.



مقطع في هامش أمريكة الشمالية والأجزاء المتاخمة من حوض شمال الأطلسي
الشكل (٣) إلى الشرق من (كراس هاتيراس Hatteras) في شمال كارولينة وقد بولغ في المقياس الشاقولي للإيضاح والرسم السفلي للمقطع نفسه بالمقياس الحقيقي

من أمثلة ذلك ، يذكر أن عرض الرف القاري شرق أمريكا الشمالية يبلغ نحو ٣٢٠ كيلو متراً، وهو مغطى برواسب تصل ثخانتها عند حافته الخارجية إلى ٥٠٠٠ متر تقريباً وتعود إلى حقبي الميزوزوي والكينوزوي، تتألف من صخور رملية وغضارية وغضارية صفحية وكلسية، أو ما يعادلها من رسوبات غير متصلبة، وهي تتشابه بمجملها مع رسوبات الجزء الداخلي من حزام الابالاش، باستثناء خلوها من أسافين الحجر الرملي. أما الرسوبات العميقة المتراكمة فوق قشرة المحيط، فهي غضارية ناعمة مشوبة بمواد خشنة انزلقت من الرف القاري، وتفوق ثخانتها في بعض المواقع ثخانة الغطاء الرسوبي فوق الرف القاري.

هبوط الأحزمة الحركية: يُقلل الهبوط التدريجي للأحزمة الحركية من الثخانة الكبيرة لأجزاء من التراكم الرسوبي الثخين، ويعزى ذلك إلى أن صخور القشرة القارية ذات كثافة أقل من صخر المعطف المبطن لها، فهي إذن تطفو فوقه، ولابد للجزء الناهض منها أن يخضع للحت فتقل ثخانته ويميل إلى النهوض، وبالمقابل يميل الجزء الحامل لرواسب متزايدة في الثخانة إلى الهبوط، وفق مبدأ توازن الطفو floating balance أو ما يعرف بالتوازنية isostasy، وعلى هذا يعلل هبوط الأحزمة الحركية بازدياد فعل الثقالة، مع ازدياد التراكم الرسوبي، أي إن معدل الهبوط يتناسب مع معدل التراكم، وبناءً على ذلك، فإن جزءاً مقابلاً من صخر المعطف، تحت القشرة الأرضية الهابطة، يجب أن يزاح ويُضغط جانبياً ليسبب نهوض أجزاء مجاورة.



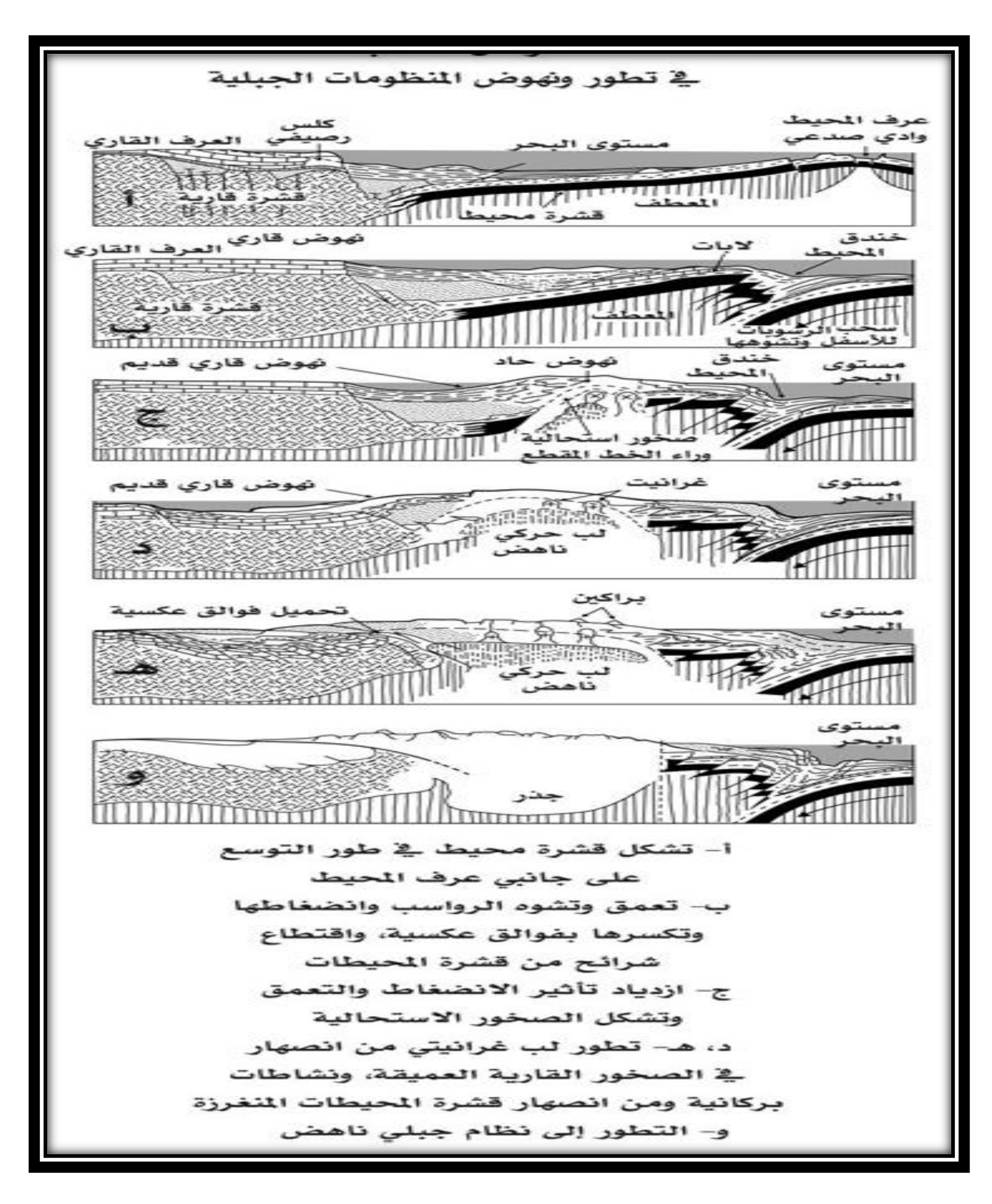
قد يكون هذا النقاش مقبولاً قبل بضعة عقود، إلا أنه غير مقبول في الوقت الحاضر. فالجزء المعطفي المفترض إزاحته بثقل الرواسب أكثر كثافة من الجزء الهابط. ولذلك لا يمكن أن يزاح من صخر المعطف سوى جزء معادل لوزن تلك الحمولة. وعلى هذا، لا يمكن تعليل مقدار الهبوط في الحزام الحركي كلياً بالتحميل الرسوبي، إذ لابد من مشاركة عوامل ميكانيكية أخرى. فالأحزمة الحركية هي الأجزاء من صفائح الغلاف الصخري التي تخضع للهبوط والانغراس في المعطف جراء التصادم بين الصفائح، وعلى ذلك فهي تُشَدُّ وتُسحَبُ إلى الأسفل بعوامل تختلف عن توازن الطفو. فمثلاً، تعد أجزاء القشرة الأرضية الواقعة بين خنادق المحيطات، وأقواس الجزر في شرقي آسيا نموذجاً حالياً للجزء الخارجي للحزام الحركي. ويعلل هبوط هذا الجزء بالآلية التي تسبب هبوط القشرة الأرضية في خنادق المحيطات.إلا أن التوسع في تعميم هذه السببية على الجزء الداخلي يوقع في ورطة. فالرف القاري إلى الشرق من أمريكا الشمالية هو على الأرجح مثال عن الجزء الداخلي للأحزمة الحركية، فهو يتطور، بعيداً عن خنادق المحيطات وأقواس الجزر، بحالة توازن الطفو مع المعطف المبطن له، وهبوطه يجب أن يكون نتاج عمليات أخرى، فالرفوف القارية العريضة المغطاة برواسب ثخينة تتطور في الوقت الحاضر على حواف صفائح قارية متباعدة، ولكي تعلل أسباب هبوطها يجب التمعن في تتابع مفترض من الأحداث الجيولوجية التي تؤدي إلى انفتاح المحيطات.

حين يصعد تيار ساخن من صخر المعطف إلى أسفل قشرة قارية، فإنه يؤدي إلى تقببها وترققها بالتسخين والشد، وينتهي الشد والترقق في الجزء المقبب إلى تصدعه بفوالق عادية وهبوط أجزائه على امتداد هذه الفوالق وتتراكم في الأودية الهابطة منها رواسب كثيرة تنتج من حت جبال الكتل الفالقية الواقعة على جانبيها. ومع تتابع هذه الأحداث تتكسر القشرة القارية إلى جزأين متباعدين، بينهما عرف ridge لمحيط جديد، ويأخذ هذا المحيط بالتوسع من الاندفاعات البركانية المولدة لقشرة المحيط التي يسببها الانصهار الجزئي في صخر المعطف الساخن المتحرر من الضغط. وهكذا يتطور الجزء الداخلي من الحزام الحركي بالشد والترقق والهبوط على امتداد فوالق عادية على جانبي الصفيحتين القاريتين المتباعدتين. ومع استمرار توسع صفيحتي المحيط المتولدتين على جانبي العرف وتصادمهما مع الصفيحتين القاريتين المتباعدتين تهبط قشرة المحيط تحتهما وتنغرز في المعطف.

<u>نهوض منظومات الجبال:</u>

تتصف هوامش تصادم الغلاف الصخري بأنواع كثيرة من النشاطات، من بينها نوعان لهما أهمية خاصة في نهوض الجبال؛ **<u>فالنوع الأول</u>** نشاط حراري ينجم من انغراس قشرة المحيطات داخل المعطف وارتفاع حرارتها وحدوث الانصهار الجزئي المولد للمُهل (magma) التي تندفع على السطح بنشاطات بركانية. **<u>أما النوع الثاني</u>** فهو نشاط ميكانيكي لهبوط قشرة المحيطات، وانغرازها يؤدي إلى تعمق رواسب المقعر الجيولوجي وانضغاطها وتشوهها بالطي والفوالق العكسية والاستحالة، مما يؤدي تدريجياً إلى نهوضها على شكل منظومات جبلية. وفي العودة إلى

تطور المحيطات الحالية، فإن المحيط الأطلسي لا يزال في طور التوسع، وبالتالي يزداد عمق دفن الرواسب المتراكمة في مقعراته الجيولوجية على امتداد حدوده القارية. لقد بدأ تطور هذه المقعرات على امتداد الشواطئ الشرقية لأمريكا الشمالية منذ ٢٠٠ مليون سنة، إلا أن تطورها على امتداد الشواطئ الشرقية لأمريكا الجنوبية كان متأخراً، لأن انفتاح المحيط الأطلسي كان يتقدم تدريجياً من الشمال إلى الجنوب. وبما أن هبوط قشرة المحيطات تحت هذه المقعرات يشد رواسبها نحو الأسفل كما يدفع بها نحو الحافة القارية ويجعلها عرضةً للتشوه، فإن الأجزاء العميقة من هذه الرواسب تخضع تدريجياً للاستحالة، وتعطي أنواعاً من الصخور الشيستية والغنايسية. ومع ازدياد التسخين في الصخور القارية العميقة يحصل فيها انصهار جزئي تتولد منه مُهل (ماغمة) ريوليتية (تشبه في تركيبها الغرانيت) تصعد ببطء نحو الأعلى بسبب لزوجتها العالية، لا تلبث أن تتصلب في الصخور التي تجتاحها على هيئة مدسوسات باثوليت ضخمة .



أ- تشكل قشرة محيط في طور التوسع على جانبي عرف المحيط
ب- تعمق وتشوه الرواسب وانضغاطها وتكسرها بفوالق عكسية، واقتطاع شرائح من قشرة المحيطات
ج- ازدياد تأثير الانضغاط والتعمق وتشكل الصخور الاستحالية
د، هـ- تطور لب غرانيتي من انصهار في الصخور القارية العميقة، ونشاطات بركانية ومن انصهار قشرة المحيطات المنغرزة
و- التطور إلى نظام جبلي ناهض

فالتشوهات العظيمة والاستحالة والانصهار والنهوض الأعظمي، هي التي تؤلف لب النظام الجبلي الذي يتطابق مع أعمق أجزاء المقعر الجيولوجي. أما الغطاء الرسوبي فوق الرف القاري فينضغط ويُحشَر بين كتلة القارة وكتلة الصخور العميقة الناهضة فينطوي ويتشوه وينهض أيضاً، ليكوِّن المجال الهامشي من النظام الجبلي الجديد. وفي كثير من أنحاء العالم توجد أجزاء من صفائح الغلاف الصخري منغرزة تحت صفائح متصادمة معها، كما توجد منظومات جبلية في طور النهوض، منها جبال الأنديز في غربي أمريكا الجنوبية.

فصفيحة المحيط المنغرزة هي صفيحة نازكا Nazca، والصفيحة القارية المتصادمة معها هي أمريكا الجنوبية، وخندق المحيط فوق نطاق الانغراز هو خندق البيرو ـ تشيلي، والمنظومة الجبلية الناهضة هي جبال الأنديز التي تنتشر فيها النشاطات البركانية. ويعتقد أن هذه النشاطات البركانية التي تحدث باستمرار على الجانب القاري من التصادم تقوم بدور رئيس في تطور هذه المنظومة الجبلية. أما جبال الهيمالايا والألب التي تعد من أشهر المنظومات الجبلية في العالم، فتتصف بنهوض شديد وتضاريس حادة وذرى شاهقة وتقع داخل القارات. أما نشأتها فقد بدأت مراحلها منذ ٢٠٠ مليون سنة، ويعود نهوضها إلى تصادم صفائح قارية، فجبال الهيمالايا نهضت من تصادم صفيحة القارة الهندية مع كتلة التيبت الآسيوية، كما نهضت جبال الألب من صفيحة القارة الإفريقية مع الصفيحة الأوربية، وأدى ذلك إلى انغلاق محيط التيثس القديم.

أما جبال الابالاش التي عاصرت في نهوضها جبالاً تقع حالياً في غربي أوربة، فيعتقد أن تطورها كان في مقعر جيولوجي يتبع محيطاً أطلسياً أقدم من الحالي ببضع مئات من ملايين السنين، حين تحركت صفيحة القارة الأوربية لتتصادم مع أمريكا الشمالية، وأدى هذا التصادم إلى نهوض نظام جبلي في قارة البانجيه Pangaea، ثم انفصلت فيه جبال الابالاش عن جبال غربي أوربة، حين تكسرت هذه القارة القديمة وتباعدت أجزاؤها. ويعتقد أيضاً أن منظومات جبلية قديمة تقع داخل القارة الآسيوية، كجبال الأورال التي تعود تشكيلاتها الرسوبية إلى أزمنة الباليوزوي، قد نهضت من تصادمات قارية، ربما تكون تلك التي جمعت أجزاء قارة (البانجيه).

وتعطي ملاحظات الدروع القارية القديمة دلائل تشير إلى احتوائها على منظومات جبلية غابرة، أقدم بكثير من الباليوزوي، ولهذا يعتقد العلماء أن حركات صفائح الغلاف الصخري كانت تجري منذ أقدم الأزمنة الجيولوجية، مما أدى إلى التحام الكتل القارية وانفصالها مرات متعددة.



أكبر جبال العالم

تكون السلاسل الجبلية :

تتكون الأرض من سهول و جبال ووديان وهضاب وكل منها تشكل بفعل عوامل عديدة ولقد تشكلت السلاسل الجبلية الحديثة تحديدا مع بداية انفصال القارات عن بعضها اي منذ ٢٠٠ مليون سنة . وتتوزع هذه السلاسل الجبلية بشكل منتظم على مستوى حدود الصفائح الصخرية .

وهناك أنواع وخصائص للسلاسل الجبلية ومنها :

١ ـ سلاسل الطمر: مثل سلسلة جبال الانديز ومن أهم خصائصها ان هذه السلسلة تمتد على طول ساحل المحيط الهادي في امريكا الجنوبية على مسافة ١٠ آلاف كم ، يصل ارتفاعها الى ٧٠٠٠ م وعرضها يقدر بـ ٥٠٠ كم ، تحد هذه السلسلة حفرة محيطية يصل عمقها الى ٨ كم من مستوى البيرو وتجسد هذه الحفرة المظهر السطحي لظاهرة الطمر . وتتميز ببراكين انديزيتية نشيطة وبزلزالية مهمة كما تتميز بوجود طيات ذات وسع كبير وفوالق معكوسة مهمة .

مراحل تشكيل هذه السلاسل : انغراز الصفيحة المحيطة تحت الصفحة القارية نشوء قوى انضغاطية هائلة تؤدي الى انظغاط القشرة القارية وازدياد سمكها ينتج عن هذه القوى طيات وفوالق معكوسة . نشوء الزلازل والبراكين نتيجة لارتفاع الحرارة والضغط الناتجين عن احتكاك الصفيحتين .

٢ـ سلاسل الاصطدام : مثل سلسلة الهملايا وهي سلسلة جبلية توجد بآسيا وتمتد بين الكتلة الاوروبية والاسيوية والقارة الهندية وتمر بخمسة دول آسيوية كالصين والهند والباكستان وتمتد حوالي ٢٩٠٠ كم وعرضها ٢٥٠-٣٠٠ كم . تتميز هذه السلاسل الجبلية بوجود طيات وفوالق معكوسة .

مراحل تشكيل هذه السلاسل : انغراز الصفيحة المحيطية لبحر تيتيس تحت الصفيحة القارية الاسيوية . استمرار ظاهرة الطمر حتى الاختفاء الكلي لمحيط تيتيس . اصطدام القارتين وتشكيل جبال الهملايا حيث تنضغط القشرة القارية ويزداد سمكها مكونة التضاريس وجدار السلسلة .

توجد جميع السلاسل الجبلية الحديثة في مناطق تقارب صفائح الغلاف الصخري ، وتتشكل ببطء خلال ١٠ او ١٠٠ ملايين السنين وتنتج دائماً عن قوى انضغاطية مرتبطة بحركة الصفائح ، وتعتبرمن اهم هذه السلاسل سلاسل الاصطدام وسلاسل الطمر .

دور التحات في تشكل الجبال:

إن معرفة الطريقة التي تتفاعل فيها القوى التكتونية والانجرافية والمناخية لتشكُّل الجبال يؤدّي إلى فهم أوضح لتاريخ الكرة الأرضية.

تُعد الجبال أضخم من كل ما بناه الإنسان من أبنية، وقد تشكلت بفعل النحت ؛ حيث يصل ارتفاع أعلى قمة في العالم، وهي قمة جبل إڤرست في الهيمالايا، إلى ٨٨٤٨ مترا .

وقد قادت الأبحاث الحديثة إلى فهم جديد ومهم حول طريقة تشكّل هذا التضريس الأرضي الأكثر ارتفاعا في العالم. فالجبال تكوّنت واتخذت أشكالها ليس فقط، كما يبدو، بحركات الصفائح التكتونية الضخمة التي تشكل المظهر الطبيعي للأرض، وإنّما أيضا بوساطة التغيّرات المناخية وعمليات الانجراف. وبشكل أدق فإن العمليات التكتونية والمناخية والانجرافية تؤثّر تأثيرا قويا في شكل الجبال وارتفاعها الأعظمي وكذلك في الفترة الزمنية اللازمة لتشكل أو هدم سلسلة جبلية .وبخلاف ما ذُكر يبدو أن عملية تشكل الجبال تعتمد على قوى الهدم الانجرافية بقدر ما تعتمد على القوى التكتونية البنائية.

وبسبب أهمية تشكل الجبال في تطور الكرة الأرضية فإن نتائج هذه الأبحاث لها أهمية كبيرة في علوم الأرض. وبالنسبة إلى الجيولوجي، فإنّ سهول الكرة الأرضية ووديانها العميقة وبصورة خاصة جبالها، تكشف له عن المخطط العام لتطوّر الكوكب خلال مئات الملايين من السنين. فعبر هذا التاريخ الطويل، تُعد الجبال دليلا عن أمكنة الأحداث التي انتابت القشرة الأرضية أو بالأحرى تحت هذه القشرة تماما، مثل أحداث تصادم الصفائح التكتونية التي دفعت هذه الطبقة السطحية نحو الأعلى. وهكذا فإن الجبال هي أفضل مظهر مرئي عن القوى التكتونية الضخمة الفاعلة وعن الفترات الزمنية الطويلة التي من خلالها قامت تلك القوى بمهامها.

ففي الستينات فسّرت نظرية تكتونية الصفائح طريقة تشكل الجبال نتيجة التحرك الأفقي لكتل ضخمة من الغلاف الصخري الذي يمثّل الجزء الخارجي الصلب والبارد نسبيا من الكرة الأرضية. وبحسب هذا الإطار العريض فإن طاقة الحرارة الداخلية تُشكل سطح الكوكب نتيجة انضغاط وتسخين وتكسير الغلاف الصخري الذي تتراوح ثخانته ما بين ١٠٠ كيلومتر أو أقل تحت المحيطات و٢٠٠ كيلومتر أو أكثر تحت القارات. ولا يكون الغلاف الصخري على شكل طبقة واحدة مستمرة بل يكون، بالأحرى، مقسما إلى عشرات من الصفائح. وهذه الصفائح، مدفوعة بالحمل الحراري الذي تحتها، تتحرك بالنسبة إلى بعضها بعضا مفسّرة بذلك معظم ظواهر ومعالم سطح عالمنا المألوفة مثل الزلازل وأحواض.

المحيطات والجبال :

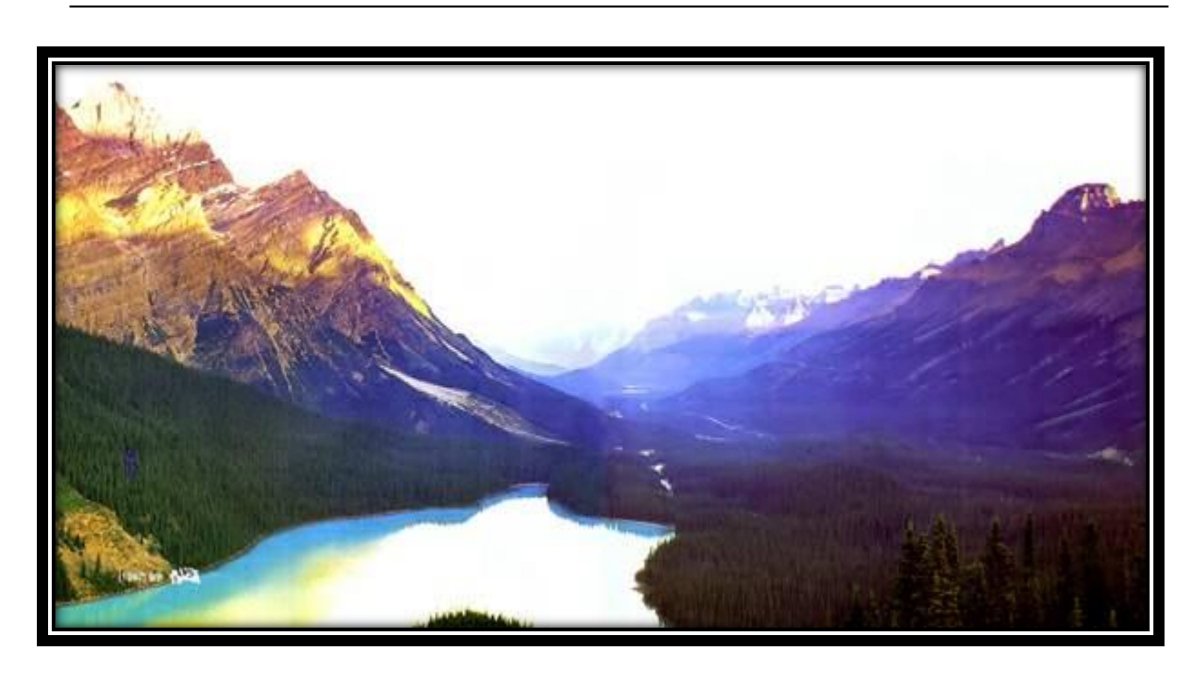
هذا ولم يرفض علماء الأرض على الإطلاق تكتونية الصفائح كقوة في تشكُّل الجبال. ومع ذلك استنتجوا في السنوات العشرين الماضية أنّ أفضل وصف للجبال هو أنّها لم تنتج من القوى التكتونية فقط ولكن، على الأصح، من نواتج نظام يضم عمليات انجرافية ومناخية إضافة إلى عمليات تكتونية، وترتبط هذه المركّبات الثلاث فيما بينها بارتباطات وعمليات تغذية مرتدة (راجعة) feedbacks معقدة ومتعددة.

ومازالت تكتونية الصفائح تزودنا بالإطار الأساسي الذي يعلّل توزّع الجبال على سطح الأرض. كما أنّ تشكل الجبال لايزال يفسر كإضافة كتلة أو حرارة أو شكل ما من الاثنين معا، إلى منطقة من القشرة الأرضية (القشرة الأرضية هي الجزء الأعلى من الغلاف الصخري). فالقشرة الأكثر حرارة أو الأثخن ترتفع نحو الأعلى مشكِّلة الجبال، بسبب أنّ القشرة تعوم بصورة أساسية فوق وشاح أكثف منها، والقشرة التي تكون إما أثخن وإمّا أكثر حرارة (أي أقل كثافة) هي التي تعوم أكثر إلى الأعلى. وتسهم تكتونية الصفائح في زيادة ثخانة القشرة إمّا بالتقارب الجانبي بين الصفائح المتجاورة وإمّا عبر الدفق الصاعد من الحرارة والمُهل (الصخر المنصهر.

اندساس أو تصادم:

يحدث تقارب الصفائح التكتونية بصورة عامة بطريقتين اثنتين. فقد تنزلق إحدى الصفائح نحو الأسفل أي تندس (تنغرز) تحت صفيحة أخرى في الوشاح. وعند حدود منطقة الاندساس subductionتزداد الصفيحة الأعلى ثخانة نتيجة الانضغاط وصعود المهل) الماغما، الصهارة) المضاف الناجم عن انصهار الصفيحة المُندسة. إنّ الكثير من الجبال التي تتضمّن معظم السلاسل الجبلية التي تحيط بالمحيط الهادئ، والموجودة في منطقة ناشطة من الناحية الجيولوجية تُعرف بحلقة النار، تشكّلت بعملية الاندساس، وبالمقابل لا تندس في عملية التصادم collision بين قارتين أية صفيحة في الوشاح. وبسبب ذلك فإنّ كل الكتلة المضافة الناجمة عن التصادم تسهم في تشكل الجبال .لقد أحدثت عمليات التصادم هذه أشكالا طبوغرافية مدهشة مثل نجد (هضبة) التيبت وجبال الهيمالايا التي تحوي أعلى القمم العشر في العالم.

إن تدفق المهل والحرارة على قشرة الأرض مثلا أثناء النشاط البركاني قد يؤدّي أيضا إلى تشكل الجبال .فأطول السلاسل الجبلية على الأرض - وهي ضهور (حُيود) وسط المحيطات-mid-ocean ridges- هي الناجمة عن صعود المهل عندما تتباعد الصفائح بعضها عن بعض مشكِّلة قشرة جديدة تحت المحيط. وهذه الضهور تتكوّن المحيطين الأطلنطي والهندي وشرق المحيط الهادئ وتبدو كالدرْزِ الذي يُشاهد على كرة البيسبول؛ ويبلغ طول ضهر وسط المحيط الأطلنطي وحده أكثر من ١٥٠٠٠ كيلومتر ويرتفع إلى ٤٠٠٠ متر فوق السهول المجاورة السحيقة المكوّنة لأرضية المحيط. وعلى اليابسة، قد تساعد الحرارة التي ترافق تدفق المهل على رفع مناطق واسعة، وذلك بجعل القشرة أقل كثافة وأكثر عوما على الوشاح الأكثف الموجود تحتها.



منظر لوادٍ مدهش في جبال الروكي الكندية نُحت بالجليديات التي لها قوة انجرافية ضخمة أثناء العصر الجليدي الأخير.

إنّ نشوء فكرة تشكل الجبال كنظام يتكيّف مع الظروف system-oriented view يضيف إلى تلك الظواهر التكتونية تأثيرات الانجراف والمناخ المتشابكة فيما بينها في الغالب إلى أبعد الحدود. ويتضمّن الانجراف تفكيك الأساس (المهد) الصخري وتعرية المنحدرات من الرواسب ونقل الرواسب بالأنهار. وتعتمد مجموعة العوامل الانجرافية الفعّالة على وجه الأرض ـ عوامل الثقالة والمياه والرياح وجليد الجليديات ـ على المناخ المحلّي وعلى الانحدار الطبوغرافي وعلى طبيعة الصخر السطحي أو قرب السطحي.

ويرتبط المناخ على نحو معقّد بالانجراف لأنه يؤثر في متوسط معدّل خسارة المواد على وجه الأرض. وبصورة عامة تساعد الظروف المطيرة على تسريع معدّلات الانجراف، ومع ذلك فإنّ الرطوبة الزائدة تُشجع نمو النباتات التي تساعد على حماية السطح وتثبيته عند حدوث انجراف. وتكون الجبال في المناطق القطبية أقل عرضة إلى الانجراف، جزئيا بسبب جفاف المناخات الباردة وأغطية الجليد القارية مثل أغطية منطقتي گرينلندا والقطب الجنوبي اللتين تكونان عادة متجمدتين حتى الصخور التحتية التي لا تتعرّض إلى الانجراف. وعلى العكس من ذلك فإن جليديات الجبال، مثل جليديات جبال الألب الأوروبية وجبال سييرا نيڤادا في كاليفورنيا، تهاجم بشدة الصخر تحت السطحي، لذا فإنّ هذا النمط من الجليديات قد يكون من أكثر عوامل الانجراف فعالية على الكرة الأرضية.

هذا وثمة ارتباطات كثيرة أخرى بين الانجراف والمناخ والطبوغرافيا. فمثلا ترفع الجبال الرياح التي تهب عليها مسببة هطول أمطار متزايدة على منحدرات الجبل المواجه للرياح، الأمر الذي

يؤدي بدوره إلى زيادة عملية التحات. وهذا التأثير الذي يعرف بالأوروغرافيا جغرافية الجبال (orography) مسؤول أيضا عن تكوين ظل الأمطار rain shadow الذي يؤدّي إلى تشكّل



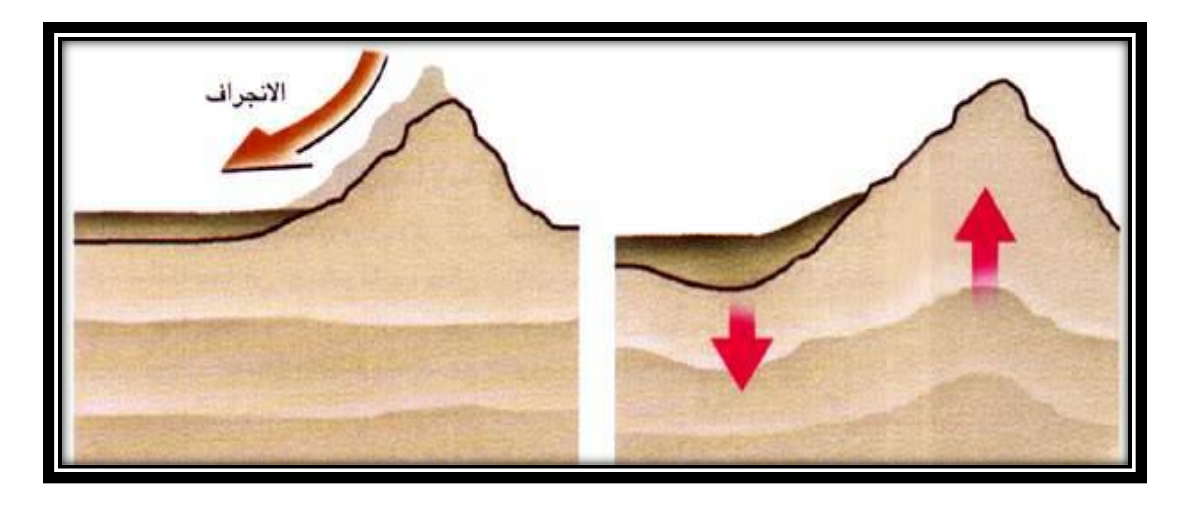
تُرى بوضوح جبال الهيمالايا ونجْد (هضبة) التيبت في هذه الصورة المأخوذة من القمر (الساتل) في الأعلى (كمنطقة يغلب عليها اللون الأبيض شمال الهند وشرقها. إنّ السلاسل الجبلية الواقعة على طول الحدود الجنوبية لهذه المنطقة هي جبال الهيمالايا التي تمثل مظهرا جميلا للتصادم المستمر الذي بدأ منذ نحو ٥٠ مليون سنة حينما بدأت صفيحة الهند التكتونية بالاندساس في الصفيحة الآسيوية.

توازن قشرة الأرض :

تحدث إحدى عمليات التغذية المرتدة من خلال ظاهرة تُعرف بالتوازنيةisostasy ، أي توازن قشرة الأرض الذي يرجع إلى طفو قشرة الأرض التي تعوم على الوشاح الأكثف شبه المائع الموجود تحتها. ولا بد لكل سلسلة جبال، مثل أيّة بنية فيزيائية، أن تستند إلى مسند، وقد تبيّن أنّ هذا المسند يأتي بشكل رئيسي من متانة القشرة وتوازنها. يوجد تحت القمم العالية لكل سلسلة من الجبال جذر root من القشرة يغوص في الوشاح. وهذا الذي يحدث في جبال الجليد التي تُقدم تشابها مفيدا: فبسبب كثافة الجليد التي تبلغ نحو ٩٠% من كثافة الماء، تستند كتلة الجليد الظاهرة فوق الماء إلى كتلة أكبر منها بتسع مرات تحت الماء. أمّا كثافة قشرة القارات فتتراوح ما بين ٨٠ و ٨٥% من كثافة الوشاح الموجود تحتها، ويؤدي هذا إلى غوص جذور من القشرة عشرات الكيلومترات في الوشاح لتسند جبالها التي يبلغ ارتفاعها فقط عدة كيلومترات.

والتوازنية هي الآلية المُنسّقة التي تربط تطور الجبال التكتوني أو الداخلي بتطورها الجيومورفولوجي (الشكلي) أو الخارجي. فعندما يزيل الانجراف كتلة ما من على السطح تستجيب التوازنية برفع سلسلة الجبال بكاملها نحو الأعلى لتحلّ محل نحو ٨٠% من الكتلة

المُزالة. ويفسّر هذا الارتفاع عددا من الظواهر التي كانت مُحيرة قبل أن يدرك الباحثون تماما دور التغذية المرتدة في تشكل الجبال.

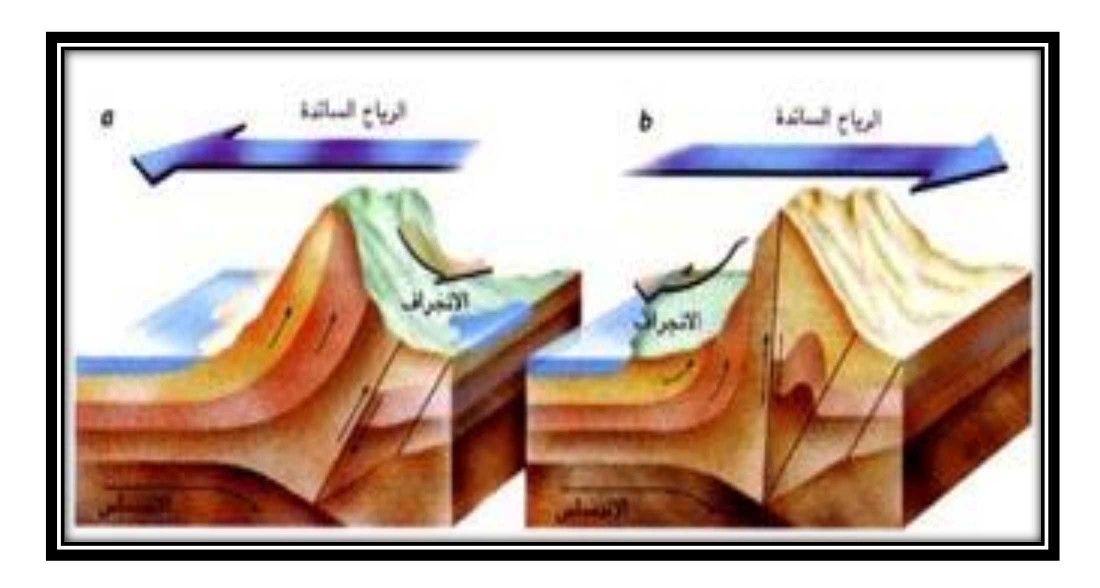


يحدث الارتفاع التوازني نتيجة طفو جبل من الجبال عندما «يعوم» على وشاح (غير مرئي في الشكل) شبه مائع وأكثر كثافة منه. ويؤدّي الانجراف إلى ارتفاع القشرة نحو الأعلى في حين يؤدي ترسيب الرواسب الناتجة منه إلى هبوط القشرة نحو الأسفل.

فقد كشفت مسوح عالية الدقة على طول شاطئ الأطلنطي في الولايات المتحدة مثلا أن اليابسة ترتفع باستمرار بمعدّل يتراوح ما بين عدة ملّيمترات وعدة سنتيمترات كل ١٠٠ سنة. وكان هذا محيرا لأن جبال الأپالاش تقع داخل صفيحة أمريكا الشمالية حيث لا توجد حدود لصفائح متقاربة لتعليل الارتفاع. فقد افترض بعض الجيولوجيين أن نتائج المسح يجب أن تكون خاطئة بسبب ذلك. ولكن مع تفسيرنا الجديد فإن بعض أو كل الارتفاع المُقاس يمكن أن يُمثّل مع ذلك الاستجابة التوازنية للانجراف وبخاصة في المناطق ذات التضاريس العالية في جبال الأپالاش. فمواد التحات الصخرية التي انتهى بها المطاف لتستقر في قيعان الأودية والأنهار قد تكون ذا شأن لأنها تستطيع رفع قمم الجبال إلى ارتفاعات أعلى مما كانت عليه قبل أن يبدأ التحات. ومع أن إزالة الكتلة تتمّ في الوديان فإنّ هذا الرفع يكون محتملا لأنّ الاستجابة التوازنية ترفع كتلة الجبال كاملة، التي تشمل الوديان والقمم على السواء.

وعلى الرغم من أنّ التوازنية تستطيع أن ترفع قمم الجبال طوال ملايين السنين فإنّ سطح الأرض، حتى من دون الرفع التكتوني، سيخضع بالفعل في نهاية المطاف إلى الانجراف. فقد أشارت عدة دراسات إلى أنّ مساحات واسعة من أستراليا هي أمثلة جيدة عن أراض قديمة جدا منجرفة. وهذه المساحات التي لم تتعرّض إلى رفع تكتوني طوال مئات الملايين من السنين تكون، على الأكثر، على ارتفاع عدة مئات من الأمتار فقط فوق سطح البحر. ويبدو أنّ معدلات سرعة ارتفاع سطوحها مرتبطة فقط باستجابة عملية التوازن للانجراف. أمّا في أمثال الجبال الناشطة من الناحية التكتونية مثل جبال الهيمالايا وجبال الألب الأوروبية فإنّ الارتفاع المُقاس يعكس جمعا لقوى تسيّرها التكتونية مع ارتفاع توازني يسيّره الانجراف. وإذا علمنا معدلات

سرعة ارتفاع الجبال وانجرافها نستطيع أن نُخمّن أنّ عشرات من السلاسل الجبلية الرئيسية قد تشكلت واندثرت على الكرة الأرضية عبر تاريخها الطويل.



تشير الأوروغرافيا (جغرافيا الجبال orography إلى الظاهرة التي ترفع الجبال بوساطتها التيارات الهوائية التي تهبّ عليها مؤدية إلى زيادة هطل الأمطار فوق القمة وعلى منحدرات السلسلة الجبلية الواقعة مقابل مهبّ الرياح. فمثلا حينما تهبّ، في سلسلة جبلية بالقرب من محيط، رياح سائدة من جهة البحر معاكسة لجهة الاندساس(a) ، فإنّ الانجراف يتركّز على الجانب الداخلي (البري) من السلسلة مؤديا إلى تكشّف الصخور الأعمق والأكثر تشويها في تلك المنطقة. أمّا عندما تهبّ الرياح في اتجاه الاندساس نفسه (b) فإن الانجراف يعري الجانب الشاطئي من السلسلة مؤديا إلى تكشّف الصخور المنطمرة إلى السطح.

جبال الهيمالايا وجبال الأيّالاش

تمثل جبال الهيمالايا والأپالاش أكبر السلاسل الجبلية على الكرة الأرضية، فقد تشكلتا معا من تصادم قاري، ولكن تختلف إحداهما عن الأخرى كما تختلف الجبال فيما بينها. وتوضح مقارنة الأولى بالأخرى بشكل جيد مبادئ تفسير فكرة تشكل الجبال الجديدة كنظام يتكيّف مع الظروف system-oriented.

تعدّ جبال الهيمالايا التي تمتد ٢٥٠٠ كيلومتر عبر شمال الهند وجنوب التيبت ملكة السلاسل الجبلية. ترتفع في هذه السلسلة الكثير من أعلى قمم العالم التي تتضمن جبل إڤرست وهو أعلى الجبال ويصل ارتفاعه إلى ٨٨٤٨ مترا. وتُمثّل جبال الهيمالايا مع نجد (هضبة) التيبت الواقع في شمال السلسلة وجنوب غرب الصين أكبر كتلة جبلية على الكرة الأرضية. ولقد افتُرض أنّ هذا النطاق الجبلي هو أعلى كتلة مرتفعة وصلتها الأرض عبر الألف مليون سنة الماضية .ويعطي النجد، من ناحية أخرى، انطباعا بأنّه سهل صحراوي منخفض ما عدا أن ارتفاعه يُسبّب ضيق

النفس. والنجد هو أكبر امتداد من اليابسة على الكرة الأرضية يزيد ارتفاعه على ٥٠٠٠ متر - تبلغ مساحته نصف مساحة الولايات المتحدة القارية، ويبلغ ارتفاع معظم مساحته أعلى بنحو ٦٠٠ متر على الأقل من جبل وايتنيه Whitney الذي هو أعلى نقطة في الولايات المتحدة. إنّ كل هذه الطبوغرافيا المثيرة والمتنوعة تطوّرت خلال الخمسين مليون سنة الماضية نتيجة لتصادم بين الهند وصفائح آسيا التكتونية. بدأ التصادم بعصر squeeze كل من الهند والتيبت وبتكوين (تنشيط) صدوع انضغاطية ضخمة على مستوى القشرة الأرضية، دفعت قسما من القارة الهندية تحت جنوب القارة الآسيوية. كانت سرعة الهند أثناء حركتها نحو الشمال قبل التصادم تتراوح ما بين ١٥ و ٢٠ سنتيمترا في السنة في حين أصبحت بعد التصادم ٥ سنتيمترات في السنة. إنّ مثل هذا التباطؤ في السرعة لكامل القارة هو أقل دهشة من حقيقة أن الهند لاتزال مستمرة في التقدّم نحو وضمن جنوب آسيا بسرعة ٥ سنتيمترات في السنة طوال الأربعين أو الخمسين مليون سنة الماضية. فقد تقدمت القارة الهندية نحو ٢٠٠٠ كم في الصفيحة الآسيوية، وتضاعفت تقريبا ثخانة القشرة وارتفعت جبال الهيمالايا ونجْد التيبت وضغطت مساحات ضخمة من الهند الصينية وشرق الصين نحو الشرق والجنوب الشرقي.



تشكلت جبال الأپالاش والهيمالايا بمجموعة العمليات الجيولوجية نفسها ولكن بفارق زمني قدره نحو ٢٥٠ مليون سنة. لقد أعطت السنين الكثيرة والطويلة إلى جبال الأپالاش الأقدم (في اليسار)، مظهرا أقل وعورة من جبال الهيمالايا (في اليمين) التي لاتزال ترتفع باستمرار بوساطة قوى تكتونية شديدة. وقد تكون جبال الهيمالايا الجبال الأكبر والأكثر ارتفاعا التي تشكلت على الكرة الأرضية خلال الألف مليون سنة الماضية.

إن تشكل جبال الهيمالايا ونجد التيبت يوضّح الكثير من مبادئ نظام تشكّل الجبال الغني بالتغذية المرتدة feedback-rich. فعلى سبيل المثال إنّ ارتفاع النجد سبّب على ما يبدو تغيّرا مناخيا منذ نحو ٨ ملايين سنة، مما أدّى إلى زيادة مفاجئة في شدة الرياح الموسمية الآسيوية التي هي نمط من هطل مطري شديد يحصل في جنوب آسيا. وهذا النمط من الرياح الموسمية أدّى إلى زيادة كبيرة في شدة الانجراف في جبال الهيمالايا مؤديا إلى زيادة دفق الرواسب من الأنهار الهندية والبنغالية زيادة كبيرة مضروبة بعامل ١٣. ويبدو أنّ زيادة شدة الرياح الموسمية الآسيوية دفعت جبال الهيمالايا إلى الارتفاع نتيجة استجابة توازن (قابلية الطفو) القشرة إلى الانجراف الذي ازدادت شدته في المنطقة. وخلال ذلك كان تطوّر الجزء الداخلي من نجد التيبت بطيئا نسبيا لأنه كان يقع ضمن ظل أمطار rain shadow جبال الهيمالايا ولأن الأنهار الرئيسية لم تكن قد بدأت بعد في حفر مجاريها في هذه المنطقة .

وعلى الرغم من أنّ جبال الأپالاش هي في الوقت الحاضر أقل إثارة من جبال الهيمالايا فقد تشكلت بالعمليات التكتونية نفسها وهي تأخذ شكلها (تتشكّل) حاليا بنظام التغذية المرتدة نفسه. والاختلاف الأساسي بينهما هو الاختلاف في العمر: فعمر جبال الهيمالايا نحو ٥٠ مليون سنة في حين وصلت جبال الأپالاش إلى أقصى ارتفاعها منذ ما بين ٢٥٠ و ٣٥٠ مليون سنة. من الناحية الجيولوجية يعدّ الشاطئ الشرقي للولايات المتحدة الجانب الهادئ من القارة في الوقت الحاضر. ومع ذلك فقد كان قبل نحو ٢٠٠ مليون سنة مركزا فعالا لتشكل الجبال. فخلال عدة مئات من ملايين السنين السابقة كان سلف المحيط الأطلنطي (المسمّى محيط اللپتس Lapetus) يندس تحت القسم الشرقي من شمال أمريكا. فعندما كان ينغلق محيط اللپتس تدريجيا كانت ثلاث كتل أرضية صغيرة على الأقل، يُحتمل أنّها أقواس جزيرية island arcs مشابهة للجزر اليابانية الحالية، تصطدم بالقارة. وصلت عملية تشكّل الجبال فيما بعد إلى الأوج عندما تصادمت أفريقيا مع القسم الشرقي من الولايات المتحدة. وقد قُدّر عرض جبال الأپالاش المبكرة التي نجمت عن عمليات التصادم بما بين ٢٥٠ و ٣٥٠ كيلومترا مع متوسط ارتفاع يتراوح ما بين ٣٥٠٠ و ٤٥٠٠ متر، وفي قمم منعزلة ربّما كان أعلى من ذلك. وقدّرت إحدى الدراسات أنّ الانجراف أزال، خلال ٢٧٠ مليون سنة الماضية، ما بين ٤٥٠٠ و ٧٥٠٠ متر من مواد سطح جبال الأپالاش. (وهذه الحقيقة لا تعني أنّ الجبال كانت فيما مضى أعلى بنحو ما بين ٤٥٠٠ و ٧٥٠٠ متر، ويجب أن لا ننسى أنّ الجبال ترتفع باستمرار نحو الأعلى بالارتفاع التوازني استجابة إلى الانجراف). وخلال الـ ٢٠٠ مليون سنة الماضية وفي حين كانت شمال أمريكا تبتعد عن أفريقيا وفي حين كان ينفتح المحيط الأطلنطي، يمكن أن تكون أحداث ثانوية قد حصلت مما سبب ارتفاعا غير مهم، غير أن الانجراف كان يمثل العملية المسيطرة التي أعطت سلسلة الجبال شكلها.

إن حركات الطى الكبرى التى تعرضت لها قشرة الأرض خلال العصور الجيولوجية المتعاقبة، من أهم نتائج العوامل التكتونية التى أدت إلى تكون الأشكال التضاريسية الكبرى، وأهمها الجبال الإلتوائية التى تمتد فى شكل سلاسل ضخمة فى مختلف القارات، وقد ظهرت هذه الجبال خلال ثلاث مراحل أساسية، فى كل منها تعرضت قشرة الأرض لحركات تكتونية عنيفة، نتج عنها هذه

الجبال الإلتوائية، كما صاحبها نشاط بركانى وخروج كميات كبيرة من اللافا، هذا إلى جانب حدوث عدد كبير من الصدوع فى بعض المناطق حيث صاحبت الصدوع الإلتواءات.

وقد حدثت الحركات الثلاثة فى فترات جيولوجية متتابعة، كان يفصل بين كل منها فترة من الهدوء النسبى والاستقرار فى قشرة الأرض، كانت فترات الهدوء تستمر لعدة ملايين من السنين، حدثت الحركة الأولى منذ أكثر من ٣٠٠ مليون سنة، وفى خلال هذه الفترة الزمنية الطويلة لم تتوقف عوامل التجوية والتعرية عن تغيير معالمها وإزالة أجزاؤها المرتفعة، مما أدى إلى تحولها إلى تلال قليلة الارتفاع أو سهول تحاتية، بل إنه قد حدث انعكاس للتضاريس فى بعض أجزاءها. كما تعرضت بعض المناطق الأخرى لحركات تكتونية جاءت بعد ذلك فعاد إليها ارتفاعها مرة أخرى أي استعادت شبابها من جديد، أما الحركة الثانية والتى حدثت فى نهاية الزمن الأول أى منذ أكثر من ٢٠٠ مليون سنة، فإنه مازالت أجزاء منها تحافظ على ارتفاعها مثل جبال الإبلاش، بينما تحول بعضها الآخر إلى تلال وسهول تحاتية أيضاً مثل تلال مرتفعات الكاب فى جنوب غرب إفريقيا.

أما جبال الحركة الثالثة والتى حدثت منذ ما يقرب من ٢٥ مليون سنة، والتى لم يتوقف بها النشاط حتى الآن، فإنها مازالت تحافظ على ارتفاعها، لأن عوامل التعرية لم تجد الوقت الكافى لإزالة مرتفعاتها أو حتى التقليل من ارتفاعاتها، حتى أنها تعتبر أعظم النطاقات الجبلية فى الوقت الحاضر، وهى التى تسمى بالحركة الألبية نسبة لجبال الألب فى أوربا والحركات الإلتوائية هى:

1-**الحركة الكاليدونية** Calidonian Movement:

وتعود تسميتها بهذا الاسم إلى مرتفعات كاليدونيا فى شمال اسكتلندا، والتى تنتمي إليها، حدثت الحركة فى أواسط الزمن الجيولوجى الأول فى عصرى السيلورى والديفونى، ومن أشهر المرتفعات التى تنتمى لها مرتفعات شمال إسكتلندا ومرتفعات اسكندنياوه، وتكونت مرتفعات جبال الإبلاش بأمريكا الشمالية فى نهاية هذه الحركة، ولكن اكتمالها لم يتم إلا في فترة الحركة الهرسينية، وتوجد كذلك عند الأطراف الجنوبية للكتلة الكندية كما هو فى الحوض الأعلى لنهر يوكن، كما توجد فى الجانب الشرقى من جزيرة جرينلند، وتتمثل فى أمريكا الجنوبية فى الحافة الشرقية لهضبة البرازيل .

ولا يقتصر وجودها فى آسيا على الأطراف الجنوبية لكتلة سيبيريا، بل توجد أيضاً بقايا التواءات كاليدونية فى جبال سايان وبالقرب من بحيرة بيكال، أما فى قارة إفريقيا فتتمثل الإلتواءات الكاليدونية فى مرتفعات جورارة فى الصحراء الكبرى وتمتد من الشمال إلى الجنوب فى غرب القارة.

2-الحركة الهرسينية Hercynian Movement :

تعرف فى بريطانيا وغرب فرنسا بالحركة الفارسيكية وحدثت فى الجزء الأخير من الزمن الجيولوجى الأول خاصة فى عصرى الفحمى والبرمى، مما يعني أنها بدأت بعد ان انتهت

الحركة الكاليدونية بعشرات الملايين من السنين، وتوجد إلى الجنوب منها تقريباً فى كل القارات، ولأنها أحدث فإنها أكثر ارتفاعاً منها، هذا إلى جانب تعرضها فيما بعد فى عصور لاحقة إلى حركات رفع جديدة، وتوجد أهم المرتفعات التى تنتمي لها فى جنوب أيرلندا وجنوب ويلز وجنوب انجلترا، وجبال غرب أوربا ووسطها مثل هضبة فرنسا الوسطى وهضبة بوهيميا، وجبال السوديت والفوج والغابة السوداء، وبعض مرتفعات أسبانيا وجبال أورال، وتوجد فى آسيا فى جبال أرمينيا وبعض جبال آسيا الصغرى، وجبال إقليم بيكال وجبال ضنجان وتيان شان، وبعض مرتفعات الصين مثل جبال تسن لن، كما توجد فى مرتفعات أرخبيل الملايو وبعض جزر إندونيسيا مثل جزيرة جاوه وجزيرة بور ينو.

وتتمثل فى معظم جبال الألب الشرقية فى استراليا على طول الساحل الشرقى وفى بعض جهات جزر نيوزيلندة، أما فى قارة أمريكا الشمالية فتعتبر جبال الإبلاش ممثلاً رئيسياً لهذه الإلتواءات، وتتمثل فى أمريكا الجنوبية فى القسم الجنوبى لجبال الإنديز، في المنطقة الواقعة بين بتاجونيا وسهل البمباس في دولة الأرجنتين، بينما تمثلها فى إفريقيا جبال الكاب فى جنوب غرب القارة، وكذلك الإلتواءات الهرسينية فى هضبة مراكش وجبال أطلس الصغرى والأجزاء الشمالية من الصحراء الكبرى.

3-<u>الحركة الألبية</u> Alpine Movement:

أحدث الحركات الإلتوائية التى أصابت القشرة الأرضية، ولذلك فجبالها أعظم جبال العالم من حيث الامتداد والارتفاع، ومازالت ترتفع حتى الآن لقرب مدة حدوثها حيث بدأت فى أواخر الزمن الجيولوجى الثانى وبلغت أوجها فى منتصف الزمن الثالث، وأن عوامل التجوية والتعرية لم تؤثر فيها بالقدر الذى يخفضها، ونجد أنها لم تحدث كلها فى وقت واحد بل تقسم إلى ثلاثة أقسام حسب العصر الذى حدثت فيه، فالجبال الألبية القديمة التى نشأت فى أواخر الزمن الثانى وأوائل الزمن الثالث، وجبال الألب المتوسطة التى نشأت فى أواسط الزمن الثالث، ثم جبال الألب الحديثة التى نشأت فى أواخر الزمن الثالث ومازالت مستمرة حتى الآن.

اجتذبت الجبال الموجودة فوق سطح الرض انتباه الجيولوجيين أكثر مما اجتذبتهم المعالم الأرضية الأخرى. وقد تجمعت لدى العلماء خلال القرنين الماضيين كثير من المعلومات عن العمليات الداخلية التي تسبب نشأة هذه المعالم الرضية المدهشة. وعندما يستخدم الجيولوجيون مصطلح جبل mountain فإنهم يشيرون إلي أي منطقة من اليابسة ترتفع بشكل ملحوظ عما حولها (٣٠٠ متر على القل). وتكون بعض الجبال معزولة ولها قمم واضحة، ولكن من الشائع أن تتواجد الجبال كجزء من تتابع من المرتفعات الجبلية الممتدة طوليا، وشديدة التقارب من بعضها ومتماثلة في الوضع والاتجاه والعمر والأصل، تعرف بالمدود الجبلية (مفردها مد جبلي) mountain ranges. كما تعرف منظومة الجبال mountain system بأنها منطقة جبلية تتكون من عدة مدود جبلية، تربطها ملامح مشتركة في الشكل أو التركيب أو الاتجاه، مثل جبال روكي والأبالاش. وتعرف المنظومات الجبلية بأنها نطاقات طولية معقدة، تتميز بالتشوه الشديد وزيادة في سمك القشرة الأرضية وبعض التراكيب الجيولوجية التي سبق شرحها. أما سلسلة

الجبال mountain chain فهى سلسلة متصلة تضم عددا من المدود الجبلية ومنظومات الجبال المتوازية تقريبا، تتجمع كلها في سلسلة متصلة واحدة دون اعتبار لتماثلها في الشكل أو التركيب أو العمر، لكنها تشكل اتجاها محددا.

وتعرف العمليات التي تؤدي إلي نشأة سلاسل الجبال بالتجبل (بناء الجبال) orogenesis. وتمثل الصخور التي تكون الجبال دليلا مرئيا على القوى التضاغطية الهائلة التي شوهت أجزاء كبيرة من القشرة الأرضية، وتسببت بالتالي في رفع تلك الأجزاء إلي وضعها الحالي. وعلى الرغم من أن الطي هو أكثر علامات التشوه تميزاً، إلا أن صدوع الدسر والتحول والنشاطالناري تكون دائماً متواجدة ولكن بدرجات مختلفة.

وعندما يذكر الجيولوجيون عمليات بناء الجبال، فإنهم يشيرون إلي أحزمة الجبال الرئيسية، وتشمل تلك المجموعة أحزمة الألب Alps والأورال Urals والهيمالايا Himalayas والأبالاش Appalachians والكورديليرا الأمريكية American Cordiellera. وتوجد أحزمة الجبال على كل قارة، حيث تمتد لمئات أو حتى آلاف الكيلومترات. وسوف نستعرض هنا أهم نتائج تشوه القشرة الأرضية، ألا وهى أحزمة التجبل الرئيسية على الأرض.

وتجدر الإشارة إلي أنه يوجد ببعض المناطق تضاريس جبلية تنشأ دون تشوه رئيسي في القشرة الأرلضية. فقد تتقطع بعض الهضاب plateaus – وهى مناطق صخرية عالية مستوية القمة تقريباً – إلي تضاريس وعرة تشبه الجبال بسبب بعض عوامل التعرية. وعلى الرغم من أن تلك التضاريس المرتفعة تشبه الجبال تضاريسيا، إلا أنه ينقصها التراكيب المصاحبة لعمليات بناء الجبال. ومن أمثلة تلك الجبال أيضاً، تلك التي تتكون نتيجة التصدع الكتلي block – faulting، والتي تشمل التحرك على صدوع عادية normal faults بحيث ترتفع كتلة أو أكثر بالنسبة للمساحات المجاورة لها . وتمثل منطقة بيزن أند رينج Basin and Range Province في غرب الولايات المتحدة مثالاً تقليديا لتكون الجبال بسبب التصدع الكتلي، حيث شدت الأرض في اتجاه شرق – غرب، وتسببت قوى شد أدت إلي تكون صدوع تحد الكتل الرضية في اتجاه شمال – جنوب. وقد أدت الحركة على امتداد تلك الصدوع إلي تكون كتل مرفوعة تسمى نتوقا (مفردها نتق) horsts وكتل هابطة تسمى أخاديد (مفردها أخدود) grabens. ويحد كتل النتوق والأخاديد صدوعا عادية متوازية من الجانبين. وقد أدت تعرية كتل النتوق إلي تكون الملامح الطوبوغرافية لسلاسل الجبال الحالية. وفي مصر، فقد نشأت بعض الجبال عن التصدع الكتلي في منطقة خليج السويس.

كما قد تنشأ الجبال نتيجة تداخل باثوليثات مكونة من صخور بلوتونية (جوفية) مقاومة للتعرية في القشرة الأرضية انكشفت بعد أن رفعت الصخور، وتم تعرية الصخور الرسوبية الضعيفة التي تعلوها .

أ – تراكيب الجبال :

تكونت أحزمة الجبال خلال الزمن الجيولوجي المتأخر في عديد من مناطق العالم، وهى تشمل الأحزمة الحديثة مثل الكورديليرا الأمريكية، والتي تمتد على الحافة الغربية لأمريكا من كيب هورن إلي ألاسكا، وسلسلة الألب – الهيمالايا، والتي تمتد من البحر الأبيض المتوسط عبر إيران إلي شمال الهند وإندونيسيا، كذلك المناطق الجبلية في غرب المحيط الهادئ والتي تشمل أقواس الجزر الناضجة mature island arcs مثل اليابان والفلبين وسومطرة. وقد تكونت معظم هذه الأحزمة الجبلية الحديثة خلال المائة مليون سنة الأخيرة من عمر الرض. وقد يكون بعضها قد بدأ في النمو، بما فيها الهيمالايا، منذ ٤٠ – ٥٠ مليون سنة مضت.

وبالإضافة إلي تلك الأحزمة الجبلية الحديثة، فإنه توجد أحزمة جبلية أخرى منذ ما قبل الكمبري وحقب الحياة القديمة (الباليوزوي). وتحتفظ تلك الأحزمة الجبلية بالملامح التركيبية نفسها الموجودة في أحزمة الجبال الحديثة، على الرغم من تعرضها لعوامل التعرية الشديدة. وتمثل جبال الأبالاش في شرق الولايات المتحدة الأمريكية والأورال في الاتحاد السوفيتي (السابق) تلك المجموعة القديمة. وتمتد في شرق مصر سلسلة جبال البحر الأحمر، والتي يرجع عمرها إلي ما قبل الكمبري.

وعلى الرغم من أن أحزمة الجبال الرئيسية تختلف من منطقة لأخرى في التفاصيل المميزة لكل منطقة، إلا أن كل أحزمة الجبال تتكون عموماً من حيود متوازية تقريباً من صخور رسوبية وبركانية مطوية ومتصدعة، كما أن بعض أجزائها قد تعرضت لعملية تحول شديدة بالإضافة إلي تداخل بعض الأجسام النارية الأحداث بها. وقد تكونت الصخور الرسوبية في معظم هذه الأحزمة نتيجة تراكم رواسب بحرية عميقة يزيد سمكها في بعض الأحيان عن ١٥ كيلومترا، بالإضافة إلي رواسب الرف القاري الأقل سمكا. وتكون معظم هذه الصخور الرسوبية المشوهة أقدم من عمليات بناء الجبال. وتدل تلك الظواهر، على أن هناك فترة ممتدة من الترسيب الهادئ على الحافة القارية أعقبتها سلسلة أحداث عنيفة من التشوه.

وتدل الدراسة التفصيلية للمناطق الجبلية، أن عملية بناء الجبال تستغرق وقتا طويلا وتستغرق في بعض الأحيان أكثر من ١٠٠ مليون سنة. وعلاوة على ذلك، فإن إعادة ترتيب الأحداث توضح أن التشوه يبدأ عموماً من حافة القارة إلي الداخل، بحيث تتعرض الرواسب البحرية العميقة للتشوه أولا. وقد تعرضت تلك الرواسب، والتي تتكون من حجر رملي ردئ الفرز وفتات بركاني وطفل للطي الشديد والتصدع والتحول الشديد، كما لو أنها قد عصرت بمنجلة عملاقة تحرك فكها من البحر في اتجاه الأرض. ويصاحب فترة التشوه في معظم أحزمة الجبال عمليات نشاط بركاني مع متداخلات جرانيتية.

وتشمل المرحلة التالية في التشوه رسوبيات الماء الضحل على الرفوف القارية. وتتكون تلك الرسوبيات من الحجر الرملي والحجر الجيري والطفل. وتتشوه تلك الطبقات بالطي وبصدوع

الدسر التي تؤدي إلي انزلاق شرائح كبيرة من الصخور فوق طبقات أحدث عمرا. ويكون التحول عادة منخفض الرتبة. وتتعرض مناطق التجبل بعد فترة من انتهاء عمليات بناء الجبال إلي عملية رفع إقليمي. ويصاحب تلك العملية عادة القليل من التشوه. وعندما ترتفع الطبقات المشوهة عاليا، تتزايد عمليات التعرية مما يؤدي إلي تشكيل الطبقات المشوهة لتأخذ الشكل التضاريسي للجبال.

وقد تم خلال السنوات الماضية وضع عديد من الفرضيات لتفسير كيف تتكون أحزمة الجبال الرئيسية. وتقترح إحدى هذه الفرضيات أن الجبال عبارة عن تجعدات في القشرة الأرضية نشأت أثناء تبرد كوكب الأرض من حالتها الأولى شبه السائلة. فعندما فقدت الأرض حرارتها فإنها انكمشت ونشأ بها التجعدات. وتشبه تلك العملية، ما يحدث من تجعدات عندما تجف حبة برتقال، ولكن هذه الفرضية لم تصمد طويلا أمام الانتقادات التي وجهت إليها.

ومع ظهور نظرية تكتونية الألواح وضع نموذج آخر لشرح عملية بناء لجبال. فطبقا لتلك النظرية فإن بناء الجبال يحدث عند حدود الألواح المتقاربة، حيث تنشأ قوى تضاعف أفقية نتيجة تصادم الألواح، مما يؤدي إلي طي وتصدع وتحول التراكماتالسميكة من الرواسب المتكونة على امتداد حواف كتل الرض. وبالإضافة إلي ذلك، يصبح الانصهار الجزئي للقشرة المحيطية المندسة مصدراً للصهارة التي تتداخل وتشوه تلك الرواسب.

ب – عمليات بناء الجبال:

تنصب معظم الدراسات التي تحاول فهم عمليات بناء الجبال على المناطق الموجودة بها تراكيب جبال قديمة، بالإضافة إلي المناطق التي يظن أن عمليات التجبل مازالت قائمة بها. وتمثل نطاقات الاندساس النشطة مناطق ذات أهمية خاصة، حيث تتقارب أجزاء القشرة الأرضية، وتتكون أقواس بركانية عند معظم نطاقات الاندساس الحديثة. ويمثل هذا الوضع حزام التجبل الممتد حول المحيط الهادئ والمعروف بالحزام حول الهادئ circum – pacific belt. وعلى الرغم من أن نشأة القوس البركاني لا تؤدي إلي تكون طوبوغرافية الجبل، إلا أن هذا النشاط يعتبر أحد مراحل تكون حزام جبلي رئيسي.

وعندما يتصادم لوحان قاريان تنشأ قوى هائلة تؤدي إلي أن تفقد الأرض صلابتها وتتشوه وتتكسر بعدة طرق. وتمتص القشرة الرضية معظم الحركة الناشئة عن التصادم عن طريق الطي الشديد والتصدع، خلال نطاق من التشوه الشديد يمتد لمئات الكيلومترات داخل القارة. وقد يحدث التصادم أيضاً بين كتلة قارية وكتلة من القشرة الأرضية من أي نوع، بما فيها جزر أرخبيل مثل جزر الألوشي أو بعض الكتل القارية الصغيرة مثل مدغشقر. وسوف نستعرض تلك المواقع من بناء الجبال في الأجزاء التالية.

<u>١ – بناء الجبال وأقواس الجزر:</u>

<u>التجبل عند حدود الألواح المحيطية – المحيطية:</u>

تتكون أقواس الجزر البركانية volcanic island arcs من طراز الليوشي – Aleultian type. عندما يتقارب لوحان محيطيطان ويندس أحدهما تحت الاخر، وتنشأ صهارات نتيجة الانصهار الجزئي للوح المندس وبعض صخور الوشاح الموجودة أعلاه. وتتصاعد تلك الصهارات لأعلى لتكون الجزء الناري من نظام القوس المتكون. وخلال فترة من النشاط البركاني وما يصاحبها من رفع للكتل النارية المتداخلة يزداد ارتفاع القوس إلي زيادة معدل التعرية، وبالتالي زيادة كمية الرواسب التي تضاف إلي قاع البحر المجاور وإلي الحوض خلف – قوسي back – arc basin (المنطقة المحصورة بين الخندق المحيطي وقوس الجزر).

وبالإضافة إلي الرواسب الاتية من اليابسة، تكشط رواسب الماء العميق من سطح اللوح المحيطي الهابط، وتتراكم تلك الرواسب أمام اللوح العلوي الراكب، وتكون ما يعرف بالوتد المتزايد. وبمعنى آخر، فإن الوتد المتزايد هو كتلة كبيرة من الرواسب الوتدية الشكل، تتجمع فوق اللوح المحيطي المندس حيث تكشط تلك الرواسب من اللوح المحيطي المندس وتلتحم بكتلة القشرة الرضية العلوية الراكبة. وتسبب قوى التضاغط الناشئة من الألواح المتقاربة أن يطوي الوتد المتزايد زمعه أجزاء من القشرة المحيطية التي قصت من اللوح الهابط والمعروفة بالأوفيوليت بصورة معقدة ومقطوعة بعديد من صدوع الدسر. ويعتقد أن استمرار عملية الاندساس يؤدي إلي تكون وتد سميك من المواد المشوهة يمتد موازيا للجزء الناري من القوس وفي اتجاه البحر. وقد يؤدي النمو المستمر إلي بناء وتد متزايد يصبح في النهاية كبيراً لدرجة تكفي لأن يرتفع فوق مستوى سطح البحر.

وتتشوه وتتحول الرواسب الموجودة في القوس البركاني ناحية الأرض. وقد يكون التحول في الوتد المتزايد نتيجة قوى الضغط الشديدة الناشئة من اللواح المتقاربة، كما أن التحول قد يتم أيضاً بالقرب من القوس البركاني مصاحباً لتداخل الأجسام الصهارية الكبيرة. ولذلك، فإن الصخور المتحولة الموجودة في الأقواس البركانية تحتوي على معادن مميزة للتحول المرتفع الحرارة.

وتؤدي هذه الأنشطة المختلفة إلي تكون قوس جزر ناضج mature island arc يشمل حزامي تجبل متوازيين تقريباً. ويتكون الجزء المواجه لليابسة من القوس البركاني من براكين وأجسام متداخلة كبيرة مختلطة مع صخور متحولة عند درجات حرارة مرتفعة. أما الحزام المواجه للبحر من القوس البركاني فهو الوتد المتزايد وهو يتكون من رواسب متحولة ومطوية ومتصدعة وفتات بركاني، وتحتوي على معادن تميز التحول بالضغط المرتفع مثل معدن الجلوكوفين.

وقد تحقق الجيولوجيون حديثاً من أهمية أقواس الجزر في عمليات بناء الجبال. وهناك الآن اتفاق عام على أن العمليات التي تحدث في أقواس الجزر الحديثة تمثل إحدى مراحل تكون أحزمة الجبال الرئيسية على الأرض. وحيث إن أقواس الجزر تحمل بواسطة الألواح المحيطية

المتحركة، فإنه من الممكن أن يصطدم قوسان ويلتحما ببعضها (تعرف عملية الالتحام بالدرز suturing) ليكونا كتلة كبيرة من القشرة الأرضية. كما تنمو وتزداد أقواس الجزر لتصل إلي كتل في حجم القارات، وتشارك تلك الكتل في تكوين حزام جبلي، مثل حزام جبال الأبالاش.

٢ – بناء الجبال على امتداد الحواف القارية:

التجبل عند حدود الألواح المحيطية – القارية:

تتضمن عملية بناء الجبال على الحواف القارية تقارب لوح محيطي مع لوح آخر تشتمل مقدمته على قشرة قارية مثل جبال الألب في أوروبا وجبال الأنديز في غرب أمريكا الجنوبية. وتشمل منظومات جبال الإنديز على أعلى قمم جبلية في الأمريكتين، حيث وصل عديد من تلك القمم إلي ارتفاع يزيد عن ٦٠٠٠ متر. ويضم الإنديز أيضاً براكين نشطة، بالإضافة إلي أن الجزء الغربي من أمريكا الجنوبية هو جزء نشيط للغاية من حزام الزلازل حول المحيط الهادئ. وعلاوة على ذلك، يعتبر خندق بيرو – شيلي الذي يقع عند الساحل الغربي لأمريكا الجنوبية أحد أكبر الخنادق المحيطية على الأرض. ويسبب هذا النوع من التقارب المحيطي – القاري تراكيب تشبه تلك الموجودة أثناء نمو وتكون قوس جزر بركاني.

وتبدأ المرحلة الأولى في تكوين حزام جبلي طراز – الانديزي Andean type قبل تكون نطاق الإندساس. فخلال تلك الفترة فإن حافة القارة تكون حافة مستقرة marging passive. بمعنى أن الكتلة القارية توجد داخل اللوح بعيداً عن حافة اللوح. وتعتبر الكتلة القارية جزءاً من اللوح نفسه، مثلها مثل القشرة المحيطية المجاورة. ويمثل اليوم الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية والحافة الغربية لأفريقيا مثالاً لحافة قارية مستقرة، حيث تتراكم عند تلك الحافة المستقرة، رواسب رف قاري تكون في النهاية وتدا سميكا من رواسب الماء الضحل والمكونة من الحجر الرملي والحجر الجيري والطفل (، وترسب تيارات العكر خلف الرف القاري رواسب العكر turbidites على المنحدر والمرتفع القاري. وعند نقطة معينة، تصبح الحافة القارية نشطة ويتكون نطاق اندساس، وتبدأ عملية التشوه . ويعتبر الشاطئ الغربي لأمريكا الجنوبية مثالا جيدا لتلك الحافة القارية النشطة. فعندما بدأت القارة العظمى بانجيا Pangaea منذ ٢٠٠ مليون سنة في التكسر نتيجة للخسف على امتداد ما نعرفه اليوم بحيود وسط الأطلنطي، تحرك لوح أمريكا الجنوبية ناحية الغرب بعد انفصاله عن أفريقيا، بينما بدأ اللوح المحيطي المجاور للساحل الغربي لأمريكا الجنوبية (لوح نازكا) في الانحناء والاندساس تحت القارة، على امتداد خندق بيرو – شيلي . وقد تغيرت الحافة القارية من حافة مستقرة إلي حافة قارية نشطة.

ويؤدي تقارب الكتلة القارية واندساس الوح المحيطي إلي تشوه وتحول الحافة القارية. وبمجرد هبوط اللوح المحيطي إلي حوالي ١٠٠كم، تصعد الصهارة الناتجة عن الانصهار الجزئي وتتداخل في الطبقات التي تعلوها، كما أنها تؤدي إلي تشوه تلك الطبقات . وتلتحم الرواسب الاتية من اليابسة وتلك التي كشطت من اللوح المندس بيجانب الكتلة القارية على امتداد الخندق أثناء

تكون القوس البركاني volcanic arc. ويطلق مصطلح وتد متزايد accretionary wedge على هذا التراكم من الصخور الرسوبية والمتحولة مع بعض الأجزاء التي كشطت من القشرة المحيطية والوشاح والمسماة بالأوفيوليت. وقد يؤدي استمرار وامتداد عملية الاندساس إلي بناء وتد متزايد كبير لدرجة أنه يبرز فوق مستوى سطح البحر .

وتتكون أحزمة الجبال طراز – الأنديزي، مثلها مثل أقواس الجزر الناضجة، من نطاقين متوازيين تقريباً. النطاق الأول ويشمل الجزء الواقع ناحية اليابسة، ويحتوي على القوس البركاني المكون من البراكين الأنديزيتية وأجسام متداخلة فلسية كبيرة مختلطة مع صخور متحولة عند درجات حرارة عالية. أما الحزام الواقع ناحية من المقوس البركاني فهو الوتد المتزايد والمتكون من رسوبيات وفتات بركاني مطوي ومتصدع ومتحول.

ويوجد مثال آخر على أحزمة التجبل طراز – الأنديزي من الصحراء الشرقية المصرية، وتشمل سلسلة الجبال الممتدة موازية للبحر الأحمر تقريبا. وقد تكون ذلك الحزام الجبلي نتيجة اندساس لوح محيطي تحت الحافة الغربية للوح أفريقيا القاري.

٣ – بناء الجبال نتيجة التصادم القاري:

التجبل عند حدود الألواح القارية – القارية:

ناقشنا في الجزء السابق تكون أحزمة الجبال عندما تشمل الحافة المتقدمة لأحد الألواح المتقاربة قشرة قارية. ومع ذلك، فمن الممكن أن يحمل كل من اللوحين المتصادمين قشرة قارية. ونظراً لكون الغلاف الصخري للقارات أخف من أن يغوص ويندس، فإن التصادم يحدث في النهاية بين الكتلتين القاريتين. وجدير بالملاحظة أن قوى التصادم بين لاكتل القارية تكون كبيرة لدرجة أن القشرة القارية تفقد صلابتها وتتشوه وتتكسر بعده طرق. وتمتص القشرة القارية معظم حركة التصادم عن طريق الطي الشديد والتصدع في نطاق تشوه شديد يمتد مئات الكيلومترات في القارة. ويسبب التصدع في تكسر القشرة إلي عديد من فرش الدسر thrust sheets يصل سمكها إلي حوالي ٢٠كم، تتكدس فوق بعضها البعض على امتداد أسطح صدوع الدسر شبه الأفقية. كما تتشوه غالبا فرش الدسر نفسها وتتعرض للتحول، كما تنتزع رواسب الرف القاري الوتدية من صخور القاعدة التي ترسبت عليها وتدفع على أسطح الدسر داخل الأرض. وقد انفصلت الهند عن القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) قبل هذا الوقت، والتي كانت جزءاً منها ثم تحركت عدة آلاف من الكيلومترات ناحية الشمال قبل أن يحدث التصادم . وقد تكونت جبال الهيمالايا ومرتفعات التبت نتيجة هذا التصادم.

وعلى الرغم من ان معظم القشرة المحيطية التي كانت تفصل الهند عن آسيا قبل التصادم قد اندست، إلا أن بعضها قد ضغط مع الرسوبيات البحرية. ويمكن أن تتواجد الان تلك المواد مرتفعة عاليا فوق مستوى قد انفصل عن اللوح القاري الصلب واستمر في مساره تحت الكتلة القارية بعد هذا التصادم.

ويعتقد أن مركز الانتشار الذي دفع الهند إلي الشمال مازال نشيطاً، وأنها لازالت مستمرة في تحركها ناحية آسيا. وقد قطعت الهند منذ تصادمها مع آسيا حوالي ٢٠٠٠كم في آسيا على امتداد صدوع دسر. وتتحرك الهند حاليا نحو الشمال بمعدل حوالي ٥سم كل عام. ويدل عديد من الزلازل الشديدة المسجلة في الصين ومنغوليا على هذا التحرك.

ويعتقد أنه حدث تصادم مشابه، ولكنه أقدم كثيراً، حينما اصطدمت القارة الأوروبية مع قارة آسيا لتتكون جبال الأورال Ural Mountains التي تمتد في اتجاه شمالي – جنوبي في الاتحاد السوفيتي السابق. وقبل ظهور نظرية تكتونية الألواح، وجد الجيولوجيون صعوبة في تفسير وجود سلاسل جبال داخل القارات، وكيف يمكن أن تترسب آلاف الأمتار من الرواسب البحرية وتتشوه كثيرا في وسط كتلة قارية كبيرة.

وهناك أحزمة جبال أخرى يظهر أنها تكونت نتيجة تصادمات قارية مثل جبال الألب والأبالاش. ويعتقد أن جبال الألب قد تكونت نتيجة تصادم بين أفريقيا وأوروبا عند غلق البحر التيثيز Tethys Sea.

كما يوجد أيضاً اللوح العربي في غرب جبال الهيمالايا الذي يتصادم مع آسيا على امتداد سلسلة جبال زاجروس Zagros Mountains في إيران.

٤ – بناء الجبال وتكتونية الألواح الصغيرة :

أوضحت نظرية تكتونية الألواح عند بداية ظهورها أن هناك ميكانيكيتين لتفسير نشأة الجبال (التجبل):

الأولى: وهى التصادمات الجبال مثل اللب والهيمالايا والأبالاش والأورال.

أما الثانية: فهى نشأة الجبال المصاحبة لاندساس لوح محيطي، مثل منظومة جبال الأنديز، والتي كان يعتقد أنها سبب نشأة عديد من منظومات الجبال حول المحيط الهادئ.

وقد أوضحت البحوث الحديثة أن هناك ميكانيكية أخرى لشرح نشأة الجبال. فقد اكتشف الجيولوجيون خلال الفترة من عام ١٩٧٠م وحتى عام ١٩٨٠م أن هناك أجزاء عديدة من المنظومات الجبلية تتكون من كتل ملتحمة صغيرة (تمتد لمئات الكيلومترات) من الغلاف الصخري، يدل تاريخها الجيولوجي على أنها مختلفة عن الكتل المحيطية، تعرف بكتل الألواح الصغيرة microplate terranes. وتختلف تلك الكتل تماماً في محتواها الحفري والاتجاهات التركيبية وخصائص المغناطيسية القديمة عن صخور منظومة الجبال المحيطية. وقد دفع هذا الاختلاف كثيرا من الجيولوجيين للاعتقاد أن تلك الكتل تكونت في مكان آخر ثم حملت لمسافات كبيرة كأجزاء من ألواح أخرى حتى اصطدمت مع ألواح صغيرة أخرى أو قارات. ولذلك تعرف

أحيانا تلك الألواح الصغيرة بالكتل المزاحة displaced terranes أو الكتل الدخيلة exotic terranes . ويجب ألا نخلط بين مصطلح terrane وكلمة terrain والتي تعني منطقة أو تضاريس أرض ما.

وتشير الأدلة الجيولوجية أن أكثر من ٢٥% من ساحل المحيط الهادئ الممتد غرب أمريكا الشمالية من ألاسكا إلي باها بكاليفورنيا يتكون من ألواح صغيرة ملتحمة. وتتكون الألواح الصغيرة المتزايدة من أقواس جزر بركانية وحيود محيطية وجبال بحرية وكتل صغيرة من القارات، والتي كشطت ولحمت في حافة القارة أثناء اندساس اللوح المحيطي الذي حملها تحت القارة. ويقدر أنه أضيف أكثر من ١٠٠ لوح صغير مختلفة الأحجام إلي الحافة الغربية لمريكا الشمالية خلال المائتي مليون سنة الماضية.

وتوجد معظم الألواح الصغيرة المعروفة في سلاسل جبال المنطقة الساحلية للمحيط الهادئ – أمريكا الشمالية، إلا أنه يعتقد أنه يوجد عدد من تلك الألواح الصغيرة في السلاسل الجبلية الأخرى أيضاً، ولكن ليس من السهل تعرف تلك الألواح الصغيرة في المنظومات الجبلية الأقدم، مثل الأبالاش، بسبب التشوه والتعرية الشديدة. ومع ذلك، فقد تم تمييز حوالي ١٢ لوحا صغيراً في الأبالاش، إلا أنه من الصعوبة بمكان تعيين حدودها. وتقدم تكتونية الألواح الصغيرة نظرية جديدة للأرض تساعد في فهم التاريخ الجيولوجي للقارات.

ولكن ما طبيعة تلك الأجزاء الصغيرة من الغلاف الصخري، وأين نشأت؟ ويعتقد بعض الباحثين أن بعض تلك الكتل قد تكون عبارة عن قارات صغيرة مشابهة في طبيعتها لجزيرة مدغشقر الحالية. وقد يكون بعضها عبارة عن أقواس جزر، مثل اليابان والفلبين وجزر الألوشي، والتي تمتد حاليا في المحيط الهادئ. وبالإضافة إلي ذلك، فقد يوجد البعض الآخر تحت مستوى سطح البحر، وتمثلها حاليا الأرصفة المغمورة، والتي ترتفع عاليا فوق سطح الماء على الناحية الغربية من المحيط الهادي.

وتقترح أكثر وجهات النظر قبولا اليوم، أن الألواح المحيطية تتحرك حاملة أقواس الجزر والقارات الصغيرة إلي نطاق اندساس، حيث تكشط الأجزاء العليا السميكة من اللوح الهابط وتدفع على امتداد صدوع دسر thrust fault على هيئة فرش رقيقة نسبيا فوق كتلة القارة المجاورة. وتزيد هذه المادة التي أضيفت حديثا من عرض القارة، وقد تتراكب فوق كتلة القارة، وتزاح داخل القارة إذا حدث تصادم بكتل أخرى إضافية. علاوة على ذلك، فإن هناك أجزاء من القشرة القارية تزاح باستمرار على امتداد صدوع ناقلة transform faults، حيث يمكن أن تصطدم وتتلاحم بكتل الغلاف الصخري الأخرى. ومثال على تلك العملية، ما يحدث في غرب لوح أمريكا الشمالية، حيث يزاح جزء من كاليفورنيا وشبه جزيرة باها في اتجاه شمال – غرب على امتداد صدع سان أندرياس، ومع مرور وقت كاف، قد تلتحم تلك القشرة القارية بألاسكا.

ـ خسف القارات:

تتسبب قوى تكتونية الألواح في تغيير القشرة المافية (البازلتية) الرقيقة تحت قيعان المحيطات، وكذلك القشرة السميكة للقارات.وكما ذكرنا في فصل تكتونية الألواح، فإن نطاقات الانتشار spreading zones تتواجد غالبا في منتصف أحواض المحيطات، حيث يتكون النطاق الصخري المحيطي وينتشر في كل من الجانبين على امتداد حيود وسط المحيط. وبالمثل، فإن القشرة القارية يمكن أن تنفصل إلي أجزاء، حيث يتكون محيط جديد بين الجزئين القاريين المتبقيين. والقشرة القارية لا تتكسر إلي أجزاء بسهولة، حيث إن سمكها يبلغ خمسة أمثال القشرة المحيطية. وفي الحقيقة فإن الخسف يبدأ في التكون بكسر القارة. وتقدم قارة أفريقيا والبحار المجاورة لها مثالا جيدا على الخسف القاري، والذي مازال في طور التكوين حتى الان.

أ ـ الخسف ثلاثي الأذرع والنقاط الساخنة:

توجد على حافة قارة أفريقيا منظومة من وديان الخسف rift valleys تكونت خلال حقب الحياة الحديثة، وتمتد جنوبا من البحر الأحمر وخليج عدن عبر القارة الأفريقية. ووديان الخسف والأحواض الكبيرة التي يشغلها البحر الأحمر وخليج عدن هى أخاديد grabens تكونت نتيجة شد وكسر القشرة القارية. ووادي الخسف rift valley هو منخفض ضيق وطويل يحده من كل جانب صدع واحد أو أكثر من الصدوع العادية normal fauits. وينشأ وادي الخسف عن قوى شد، حيث يبدو أن كتلة قد سقطت بين كتلتين شدتا من جانبيهما. وعندما تتكون نطاقات الخسف، فإنها تبدأ غالبا عند حدود اللوح كأنها أخاديد لها ثلاثة أذرع تعرف بالملتقى الثلاثي triple junction . وقد لاحظ الجيولوجيون قبل ظهور نظرية تكتونية اللواح أن القشرة القارية عند الأخاديد ثلاثية الأذرع three armed grabens ترتفع وتتحدب على هيئة قباب. ويبدو أن هذا التقبب، وفي ضوء نظرية تكتونية الألواح، يعكس وجود نقطة ساخنة hot spot. وعند مثلث عفار Afar Triangle بجيبوتي يمثل البحر الأحمر وخليج عدن والنهاية الشمالية لوديان الخسف الأفريقية ملتقى ثلاثي . وتتواجد هذه الملتقيات كمعالم شائعة في القشرة الأرضية، حيث يتواجد أكثر من نوع من حدود الألواح عند الملتقى الثلاثي.

ويستمر الخسف عادة في ذراعين من أذرع الخسف ثلاثي الأذرع، بينما يصبح الذراع الثالث خسيفاً خاملاً failed rift. وقبل أن يتوقف النشاط على امتداد هذا الذراع لخاملاً، فإنه يكون أخدودا أو منظومة من الأخاديد تمتد داخل اليابسة من حافة القارة الجديدة التي كونها الذراعان الآخران. ويصبح الذراع الثالث (أو الخامل) منخفضا وممتلئا بالرواسب، كما يصبح مستقرا تدريجيا ويدفن وتنساب به بعض الأنهار الكبيرة، مثل المسيسيبي والراين والأمازون. وقد أطلق عليه الجيولوجيون الروس مصطلح أولاكوجين aulacogen. وتحتوي عادة منخفضات الأولاكوجين على موارد بترولية هامة نتيجة التراكم السريع للرواسب السميكة التي تحتوي على رواسب غنية بالمواد العضوية، وقد تتكون أيضاً بعض رواسب الخامات في الأماكن التي تصعد فيها المحاليل الساخنة على امتداد الصدوع التي تحد تلك المنخفضات.

ب – المعالم الجيولوجية لوديان الخسف القارية:

يتكون كل وادي خسف من كتلة أرضية طولية ضيقة انخفضت نتيجة التصدع. ويستطيل وادي الخسف ويزيد في العمق بسبب استمرار عملية الانتشار والشد حتى يصل في النهاية إلي المحيط. وفي هذه الحالة فإن الوادي يصبح بحرا ضيقا وطويلا مع وجود مخرج إلي المحيط، كما هو الحال في البحر الأحمر . ويستمر نطاق الخسف كموضع للنشاط الناري، حيث تنشأ باستمرار قشرة محيطية جديدة على قاع حوض محيطي باستمرار.

وتمثل وديان الخسف في شرق أفريقيا المرحلة الانتدائية في تكسر قارة. كما تضم وديان الخسف بحيرات كبيرة مثل بحيرة تنجانيقا. ويصاحب وديان الخسف براكين مافية ربما صعدت من الوشاح. وتمثل الجبال البركانية الكبيرة مثل جبل كليمنجارو Kilmanjaro وجبل كينيا Mount Kenya النشاط البركاني الكبير الذي يعتقد أنه يصاحب الخسف القاري. ولم تنشأ وديان الخسف إلا منذ حين الميوسين المبكر (أقل من ٢٠ مليون سنة مضت). وإذا استمر نشاط وديان الخسف في أفريقيا فإن شرق أفريقيا سينفصل في النهاية من كتلة القارة الرئيسية بنفس الطريقة التي انفصلت بها شبه الجزيرة العربية منذ ٢٥ مليون سنة. ومع ذلك، فليس بالضرورة أن تكون كل وديان الخسف مراكز انتشار كاملة حتى النهاية. ولم يعرف السبب بعد في استمرار نشاط بعض وديان الخسف حتى النهاية، وتوقف بعضها في مراحل معينة.

– الحواف المستقرة للقارات:

عندما يستمر الخسف القاري دون توقف، فإن القارة تنقسم إلي كتلتين، ويتكون محيط ضيق بينهما. وتتحرك في النهاية الحافتان القاريتان الجديدتان بعيدا عن نطاق الانتشار. وتغمر تلك الحواف بالبحار الضحلة نتيجة الحركة الأفقية الجانبية بعيدا عن محور حيود وسط المحيط، ولأسفل على منحدر سطح الغلاف اللدن (الأستثينوسفير) إلي مناطق ينخفض فيها السريان الحراري heat flow. وهكذا فإن حدود القارات التي كانت نشطة تكتونيا حينما كانت قريبة إلي نطاق الانتشار، أصبحت حدودا غير نشطة أي حواف مستقرة، وعندما تهبط تلك المساحات من القشرة القارية غير النشطة تكتونيا تحت مستوي سطح البحر، وتتراكم الرواسب على امتداد الرفوف القارية الضحلة. وتمثل الحدود الغربية للوح الأفريقي مثالا للحافة القارية المستقرة.

وتعرف الحواف المستقرة passive margins للقارات بأنها الحواف التي توجد داخل اللوح بعيدا عن حافته، حيث تعتبر الكتلة القارية جزءا من اللوح نفسه، مثل القشرة المحيطية المجاورة. وتسمى تلك الحواف بالمستقرة أي الهادئة، حيث لا يوجد نشاط بركاني، كما تكون الزلازل قليلة ومتباعدة. وعلى العكس من ذلك، فإن الحواف النشطة active margins تكون مصاحبة لنطاقات اندساس وصدوع ناقلة، مما يعطي لتلك الحواف القارية الضيقة والمشوهة تكتونيا اسمها. كما تعتبر الحواف النشطة مواضع لنشأة الجبال.

وهكذا، فقد هاجرت حواف الأطلنطي المتاخمة للولايات المتحدة والمتكونة حديثا بعيدا عن أفريقيا بعد أن تكسرت قارة البانجيا Pangea مبكرا في حقب الحياة الوسطى (الميزوزوي)، كما أخذت الرواسب تلك الحافة المستقرة في هبوط تحت وزن الرواسب المضافة، لتفسح المجال لرواسب أخرى يمكن إضافتها.

ـ الحركات الرأسية الإقليمية:

تركزت مناقشتنا لحركات القشرة الأرضية على التجبل (بناء الجبال) الذي ينشأ نتيجة لتصادم الألواح. ويتضمن التشوه نتيجة التضاغط بالطي والتصدع بالدسر وتداخل الصهارة والبركنة والتحول. ومع ذلك ففي جميع أنحاء العالم، تسجل تتابعات الصخور الرسوبية نوعا آخر من التاريخ الجيولوجي هو الحركات البطيئة والتدريجية للقشرة الأرضية لأعلى ولأسفل دون تعرض تلك الصخور لتشوه ملحوظ، وتعرف تلك الحركات بالإبيروجيني epeirogeny.

وعلى الرغم من ارتباط عديد من الحركات الرأسية بالتجبل، إلا أن الحركات الإبيروجينية تكون بطيئة ومتقطعة وتؤثر عادة على مساحات شاسعة، أي أن تأثيرها إقليمي، ولا تتعرض فيها الصخور لعمليات طي أو تصدع شديد. وهناك شواهد عديدة تدل على حدوث عملية الهبوط البطئ والمستمر للقشرة الأرضية أثناء عملية الترسيب، فالحفريات النباتية الموجودة في رواسب الفحم والتي نجدها الآن في المناجم في عمق الأرض تدلنا على أن الأشجار قد نمت في الأزمنة الجيولوجية السابقة فوق سطح الأرض وهى الآن مدفونة. كما تقدم التتابعات السميكة من الرواسب التي تراكمت على قاع البحر ودفنت لمئات أو آلاف الأمتار تحت قاع البحر الدليل على أن تلك الرواسب قد ارتفعت مئات أو آلاف الأمتار فوق سطح البحر نجدها الآن. ويعزي رفع تلك الرواسب إلي الوضع الحالي فوق سطح البحر إلي الارتفاع البطئ دون حدوث أي تشوه للرواسب.

ولا يستطيع الجيولوجيون حتى الآن تقديم تفسير شامل لمعظم الحركات البطيئة والإقليمية والإبيروجينية، ولكن وضعت بعض الفرضيات لشرح بعض تلك الحركات ، حيث يمثل رفع فنلندا وإسكندنافيا وشواطئ شمال كندا المرفوعة عملية استعادة القشرة الأرضية لوضعها الأصلي ببطء بعد إزالة الحمل الجليدي الذي تسبب في انخفاضها. ويعتقد أن الأحواض العميقة على جانبي حيود وسط المحيط ترجع إلي تبرد وانكماش اللوح المحيطي الجديد . وقد يتسبب تسخين الغلاف الصخري من أسفل في دفعه لأعلى وتقليل سمكه.وقد تؤدي بعض حركات الوشاح إلى شد الغلاف الصخري الموجود أعلاه وجعله أكثر رقة دون كسر اللوح . وقد يفسر ذلك هبوط بعض الأحواض في القارات. وقد يؤدي استمرارالشد وحدوث خسف إلى تكون كتلتين قاريتين يفصل بينهما محيط في طور التكوين. ويدل تكون الأحواض الممتلئة بالرواسب على الحواف القارية (مثل تلك الموجودة على الشواطئ شرق الأمريكتين والشواطئ الغربية لأروبا و أفريقيا) في هبوط حافة القارة بعد الخسف. ويرجع هذا الهبوط إلى انكماش القشرة أثناء تبرد

الحواف وتعريتها أثناء تراجعها من الخسف كما قد يؤدي تداخل الصهارة إلى زيادة سمك القشرة القارية ويسبب رفعها إلى أعلى .

ولا تقتصر الحركة الرأسية الإقليمية على الأزمنة الجيولوجية الماضية فحسب، بل لا زالت تعمل حتى الآن مثل بقية الحركات التكتونية الأخرى، فمدينة فينسيا تهبط حالياً ببطئ في البحر الإدرياتيكي بمعدل حوالي ٤ مم كل عام. ويرجع السبب الرئيسي لعملاية الهبوكط إلى أسباب تكتونية، بالإضافة إلى أن سحب الماء والغاز الطبيعي من الرواسب قد عجل في عملية الهبوط. ورغم توقف عملية سحب الغاز والماء في فينسيا، إلا أن الهبوط التكتوني ما زاتل مستمراً.

الفصل الثامن عشر: الثروة المعدنية ومصادر الطاقة



يرتبط ظهور الحضارات ارتبطاً وثيقاً بمصادر الثروة المعدنية، حيث لا تقوم أى حضارة دون وجود مصادر للثروة المعدنية. فقد بدأ أسلافنا منذ ملايين السنين استخدام تلك الثروة ء فالتقطوا أحجارا ذات أشكال مناسبة واستخدموها فى الصيد، كما اكتشفوا أن الفلنت والتشرت والأوبسيديان وغيرها تكون شديدة الصلابة فاستخدموها كسكاكين ورؤوس للرماح . وحيث إن معظم تلك الأحجار تكون محدودة الانتشار، فقد قامت تجارة على تلك الأحجار. كما بدأوا فى جمع الملح والتجارة فيه. وعندما بدأت الزراعة أصبح النظام الغذائى للبشر يعتمد على الحبوب مثل القمح والشعير والذرة .

A-الثروة المعدنية:

علم الجيولوجيا الاقتصادية:

هي أحد فروع علم الجيولوجيا تهتم بدراسة الرواسب (الخامات) المعدنية ذات القيمة الاقتصادية من حيث أشكالها- امتدادها- تراكيبها- مكوناتها المعدنية- طريقة تكوينها-كميتها- أصلها- كيفية استثمارها.

أقسام علم الجيولوجيا الاقتصادية:

١- جيولوجيا التعدين.
٢- جيولوجيا المياه الجوفية.
٣- جيولوجيا النفط.
٤- جيولوجيا الفحم.
٥- جيولوجيا الخامات المشعة.

أمثلة على الجيولوجيا الاقتصادية:

- خامات الفلزات.
- الزجاج(يصنع من الرمل).
- الاسمنت(الحجر الجيري- الطين).
- صناعة الأدوية والأسمدة الكيميائية.
- الصناعات الالكترونية(البلورات).

تعريف الخامات : تجمعات معدنية تشمل على مادة أو أكثر ذات فائدة اقتصادية .

تعريف ثاني للخام :ـ التجمعات المعدينة الوفيرة و التي تحتوي على تركيزات عالية من المواد ذات القيمة الاقتصادية .

أماكن تواجد الخامات:

- داخل صخور القشرة .
- البحار والمحيطات .
- تعتبر الأرض المصدر الوحيد للمعادن و الخامات .

كيفية تكون المعادن :

نشأت من الصهير أو الماجما .

العوامل التي تؤدي إلى تكوين معدن أو خام أو الاثنين معاً :

١ـنوعية العناصر في المعدن :

مثلا: إذا كان المصدر محتوياً على عنصر السليكون تتكون معادن السليكات .

٢ـدرجة تركيز العناصر في المصدر :

مثلاً: في حالة تواجد عنصر الحديد بنسبة ضئيلة في المصدر تتكون معادن مثل الهورنبلد ـ الأوجيت و إذا تواجد عنصر الحديد بتركيز عالي تتكون أحد خامات الحديد مثل الهيماتيت الماجنتيت.

الظروف الفيزيائية والكيميائية للمصدر:

مثل درجة الحرارة ـ الأس الهيدروجيني و التي تؤثر في نوعية نواتج التفاعلات الكيميائية المؤدية الي تكوين المعادن أو الخامات.

البيئة المحيطة بالمصدر :

مثلاً: تختلف نواتج المصدر في البيئات المؤكسدة عن نواتج في البيئات المختزلة .

أنواع الخامات المعدنية :

أولا : الخامات الماجماتية (مصاحبة للصخور النارية) تكون هذه الخامات مصاحبة للصخور الناريه . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائي .

ـ مكونات الصهير الصخرى :

١ ـ مكونات غير طياره :

تتميز بدرجة الصهارة عالية تزيد عن ١٠٠٠درجة سيليزية وتتكون ٩٩% من هذا المواد من سبعة اكاسيد أحدها حمضي وهو ثاني اكسيد السليكون يوجد بنسبة (٣٥%-٧٥%) اما باقي الاكاسيد فهي قاعدية وتشمل أكسيدالالومنيوم أكاسيد الحديد الثنائي والثلاثي أكسيد المغنيسيوم أكسيد الكالسيوم وأكسيد الصوديم أكسيد البوتاسيوم . **ملاحظه** : الصهير الغني بالسيلكا والالمنيوم عادة يكون فقيرا في اكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد.

٢ ـ مكونات طيارة :

مثل ، الفلور ،الكلور، البورون ،بخار الماء ،ثاني أكسيد الكربون ،وتوجد بكمية ضئيله جدا في الانواع المختلفة من الصهير وهذه المواد الطيارة ذات اهمية بالغة في تكوين وتركيز الخامات المعدنيه وعندما يبدا الصهير في التصلب والتبلر يتحد واحد او اكثر من الاكاسيد القاعديه مع السيليكا الحمضيه تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ويتوقف نوع السيليكات الناتجه عن التركيب الكيميائي للصهير .

مثلا:- الصهير الغني بالسليكا و الألمنيوم و القلويات :- يكون معادن الفلسبار – الكوارتز – الميكا (المسكوفيت) .

الصهير الغني بالسليكا و أكاسيد المغنيسيوم و الحديد و الكالسيوم يكون معادن الأوليفين - البيروكسين – الأمفيبول – البيوتيت .

التركيب الكيميائى للصخور المحيطة بالمصدر:

يلعب التركيب الكيميائي للصخور المحيطة بالمصدر دوراً كبيراً في التركيب الكيميائي للمصدر و ذلك نتيجة حدوث تفاعلات كيميائية متبادلة مما يؤدي إلى تكوين نوعيات معينة من المعادن و الخامات .

مرحلة التبلور :

في المراحل الأولية تتكون المعادن التي تعتمد في تكوينها على العناصر الأساسية (السليكون ــ الألمنيوم ــ الكالسيوم ــ الصوديوم ــ البوتاسيوم). في المراحل المتأخرة يزيد تركيز العناصر النادرة مثل النحاس ـالكوبلت ــ_الباريوم .

الغرفة الصهيرية : Magma Chamber

الغرفة الصهيرية Magma Chamber: وهي المكان الذي تتجمع فيه الصهارة ومنها تنطلق لتكوين الصخور النارية وتخيلناها مليئة بالصهارة فسنلاحظ أنها تمر بمجموعة من المراحل حتى تكون الأنواع المختلفة من الصخور:

بداية سنجدها مليئة بالصهارة البازلتية Basaltic magma وهذه تكون غنية بعناصر الحديد والمغنسيوم وتكون منخفضة اللزوجة فقيرة بالمحتوى الغازي والمياه وتحتوي هذه الصهارة على معادن الأولفين Olivine والبيروكسين Pyroxene والأمفيبول Amphibole بالإضافة إلى معادن البلاجيوكليز الكلسي ونجد فيها بعض الـ trace elements مثل الكروم والنيكيل والذهب والفضة .

ومع مرور الوقت تبدأ المعادن الغنية بالحديد والمغنسيوم في التبلور والتركز في قاع الغرفة الصهيرية فيقل محتواها في الصهير وتميل الصهارة إلى أن تكون متوسطة التركيب غنية بعناصر الصوديوم والبوتاسيوم Alkali Magma حتى تصل إلى التركيب الفلسي Felsic magmaعندها تكون أعلى كثا فة من الماجما البازلتية وتحتوي على نسبة أعلى من الماء وثاني اكسيد الكربون ونجد فيها معادن المايكا Maica والهورنبلند Hornblend والبلاجيوكيزالصودي بالإضافة إلى معادن الأرثوكليز والبعض الـ Trace elements مثل الذهب والفضة والنحاس العناصر الأرضية النادرة REE بالإضافة إلى اليورانيوم .

تتبلور الماجماMagma :

تمر بعدة مراحل هي كالتالي:

مرحلة المجمتة : Magmatic stag

وفي هذه المرحلة تبدأ المعادن في التبلور والترسب في قاع الحجرة الصهيرية ومع اكتمال عمليات التبلور تتجمع السوائل المتبقية في أعلى الحجرة الصهيرية لتبدأ المرحلة الثانية .

مرحلة البجمتة: Begmatitic Stage

وفي هذه المرحلة يتجمع السائل المتبقى من الصهارة Residual liquid في أعلى الحجرة الصهيرية ومع وجود الضغط تتكون صخور البيجماتيت .. أما لو كان الضغط منخفضاً عندها تبدأ المرحلة الثالثة .

المرحلة الميتاسوماتية: Metasomatic Stage

حيث يتفاعل السائل المتبقي مع الصخور المحيطة به حيث يذيب بعض المعادن الموجودة بها ويحل محلها معادن جديدة بعملية تعرف باسم Metasomatic rep lacement .

مرحلة المحاليل الحرمائية: Hydrothermal Stage

وفي هذه المرحلة تهرب الغازات الموجودة مع الماجما من خلال الشقوق وكلما ابتعدت عن المجاما تكثفت إلى سائل وتخللت خلال الشقوق وبالطبع ستحمل هذه المحاليل بعض العناصر من المجما مثل الذهب والنحاس والفضة فترسبها مع مرور الوقت وانخفاض درجة الحرارة ومع استمرار صعودها من خلال الشقوق يتغير تركيبها الكيميائي فتعطي مجموعات مختلفة من

المعادن .. وفي هذه المرحلة قد تختلط المياه الجوفية مع هذه المحاليل وقد تصعد على سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة.

وفي كل مرحلة من المراحل السابقة تختلف نوعية الماجما وأيضاً نوعية الرواسب المعدنية المتكونة في كل مرحلة من مراحل التبلور، لاحظ أننا قد بدأنا بالماجما البازلتية Basaltic magma في مرحلة المجمتة Magmatic stage وانتهينا بالمحاليل الحرمائية في المرحلة الأخيرة مروراً بالماجما الفلسية (الجرانيتية Granitic magma).

أما بالنسبة لمصادر الماجما فهي تختلف من نوع لآخر فالماجما البازلتية تأتي من الوشاح والماجما الفلسية أو الجرانيتية تتكون مع عملية التفاضل differentiation أو نتيجة انصهار صخور القشرة القارية. وينعكس اختلاف مصادر الماجما على نوعية الصخور والرواسب المعدنية المصاحبة لكل نوع.

المراحل المختلفة لتصلب الصهير :

١ – مرحلة الصهير القويم :.وهي المرحلة الأولى من تصلب الصهير حيث يكون الصهير مرتفع اللزوجة و تبدأ عملية تمايز (انعزال) لبعض الفلزات و الأكاسيد الفلزية والكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان في الصهير .

وينتج عن عملية التمايز : تركيز المواد ذات الأهمية الاقتصادية في خامات معدنية تحوي فلزات مثل الذهب – البلاتين و معادن الأكاسيد مثل الماجنتيت – الإلمينيت – الكروميت و معادن الكبريتيدات مثل كالكوبيريت .

المعادن الإضافية هي معادن توجد بنسبة ضئيلة ولا تؤثر في تسمية المعدن .

المعادن الأساسية هي معادن توجد بنسبة عالية ويؤثر وجودها في تسمية المعدن .

عندما تنخفض درجة الحرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية في التكوين حسب نظم معينة .

ـ تتبلور المعادن القاعدية الفقيرة بالسليكا أولا لأنها أقل ذوبانا في الصهير ثم تتبلور المعادن الأقل قاعدية و المحتوية على نسبة أكبر من السليكا ، ثم تتبلور المعادن الأكثر حمضية و المحتوية على نسبة قليلة من العناصر القاعدية .

التبلور النوعي (التجزيئي) : هي عمليات انفصال لمعادن السليكات أثناء تصلب الصهير .

الصخور (المعادن) الحمضية : هي التي تحتوي على نسبة كبيرة من السليكا و نسبة قليلة من معادن الحديد و المغنيسيوم و يكون لونها فاتح ووزنها النوعي خفيف .

الصخور القاعدية : هي التي تحتوي على نسبة قليلة من السليكا و نسبة عالية من معادن الحديد و المغنيسيوم يكون لونها داكن ووزنها النوعي ثقيل .

٢ – المرحلة البجماتيتية :

تتكون الخامات من الجزء السائل من الصهير منخفض اللزوجة والغني ببعض العناصر الإضافية ذات القيمة الإقتصادية . حيث تنموالبلورات إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها اقتصاديا . وتعمل السيولة العالية للصهير على تسربه لمسافات كبيرة داخل الشقوق و الكسور الصخرية حيث يبرد ببطء ويكون بلورات ذات حجم كبير مثل الكوارتز – الميكا ومعادن الأحجار الكريمة مثل الزمرد والتورمالين مكونة عروق البيجماتيت.

الخامات المعاصرة : هي الخامات التي تتكون أثناء نشأة المعادن المكونة للصخور النارية (مرحلة الصهير القويم – المرحلة البيجماتيتية).

ومن حيث النشأة فهناك نوعين من البيجماتيت:

1- بيجماتيت من أصل ناري:

وهذا النوع يتكون من الصهارة القادمة من الوشاح و غالباً مايكون غنياً بالعناصر الاقتصادية ويعتبر مصدراً هاماً للأحجار الكريمة مثل التورمالين والبيريل .

2- بيجماتيت من أصل متحول :

فمع عمليات التحول تبدأ الصخور المكون للقشرة الأرضية بالذوبان وتكون صهارة جرانيتية ومن هذه الصهارة يتكون البيجماتيت ، فإن كانت الصخور الأم حاوية على عناصر اقتصادية سنجدها في هذا النوع من البيجماتيت وهذا نادراً ما يحدث وتفيد هذه النوعية من الصخور في الحصول على الكوارتز والأرثوكليز والألبيت كمعادن صناعية.

ومما يساعد على تركيز العناصر ذات القيمة الاقتصادية في صخور البيجماتيت هو وجود بخار الماء والغازات في المراحل المتأخرة لتبلور الصهير ويعمل بخار الماء والمواد المتطايرة على إذابة وحمل كثير من الفلزات والعناصر الأرضية النادرة REE من الصهارة على هيئة مركبات متطايرة فتتركز في صخور البيجماتيت وتكثر عروق البيجماتيت عند الحواف الخارجية لكتل المتداخلات النارية وخاصة الكتل الجرانيتية وأحياناً تمتد للصخور المحيطةCountry.

٣- المرحلة الغازية :

يتسرب ما تبقى من المرحلتين السابقتين من غازات وأبخرة حارة نشطة و مواد طيارة قوية التفاعل بين الشقوق و مسامات الصخور المحيطة بالصهير فتبرد وتتفاعل مع بعضها البعض ومع الصخور المحيطة و المعادن سابقة التكوين من تصلد الصهير تتكون معادن أخرى تميز هذه المرحلة مثل :

أ – **معدن الكاسيتريت** (أكسيد القصدير) ينتج من تفاعل الفلور مع القصدير مكونا فلوريد القصدير وتهرب هذه المادة من الصهير لأنها طيارة وتتفاعل مع الماء في درجات حرارة منخفضة مكونة معدن الكاسيتريت .

ب- معدن الفلوريت ينتج من تفاعل فلورودريك مع الصخور الجيرية المجاورة مكونا معدن الفلوريت (فلوريد الكالسيوم) وهذا يفسر تواجد معدن الكاسيتريت مصحوبا بمعدن الفلوريت أو مجاورا له .

ج- معدن التيتانيوم : ينتج من تفاعل غاز الكلور مع التيتانيوم مكونا كلوريد التيتانيوم الذي يتفاعل مع الماء مكونا معادن أكسيد التيتانيوم (الروتيل – أناتاز) .

٤- مرحلة المحاليل المائية الحارة :

وهي آخر مرحلة من مراحل تصلد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقي من الصهير عبارة عن محلول مائي حار جدا ،لذلك يعمل على حمل وإذابة معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الإقتصادية ، ثم تتسرب تلك المحاليل المائية في الشقوق الصخرية لمسافات ثم ترسب حمولتها حيث تبدأ بترسيب المعادن قليلة الذوبان في المحاليل الحارة يليها المعادن الأكثر قابلية للذوبان ويتوقف ذلك على درجة حرارة المحلول – الضغط الواقع عليه أثناء الترسيب.

– لذلك تنقسم الرواسب المعدنية من المحاليل الحارة إلى :

أ – **رواسب عالية الحرارة :**

حيث تترسب على أعماق كبيرة مثل الكاستيريت – جارنت – توباز .

ب – رواسب متوسطة الحرارة :

تترسب على عمق متوسط من سطح الأرض مثل كالكوبيريت – باريت – كالسيت .

ج – رواسب منخفضة الحرارة :

تترسب بالقرب من سطح الأرض مثل الكوارتز - فلوريت – أوبال .

الخامات اللاحقة : هي خامات المرحلة الغازية و خامات المحاليل المائية الحارة .

ثانيا: الخامات المتكونة من المحاليل السطحية :

(خامات المعادن الرسوبية)

وتتكون من ترسيب المعادن المذابة في مياه البحار والمحيطات والأنهار في شقوق الصخور ثم بخر هذه المحاليل .

طرق تكوينها :

١- **بخر السائل المذيب :**

تتكون نتيجة بخر الماء من الأملاح المذابة في المياه السطحية .
حيث تترسب أملاح الكربونات أولا مثل (الكالسيت ثم الماغنسيت) ثم أملاح الكبريتات مثل معدن الجبس ثم أملاح الكلوريدات مثل معدن الهاليت .
ملاحظة: تترسب العناصر الأقل ذوبانا ثم الأكثر ذوبانا .

٢- **بخر الغاز المساعد على الإذابة:**

يتحد ماء المطر مع غاز ثاني أكسيد الكربون مكونا حمض الكربونيك (الأمطار الحمضية) وهذا الحمض له قدرة إذابة الصخور الجيرية عندما يتخلل داخلها مكونا كربونات الكالسيوم الهيدروجينية وعندما يفقد هذا المركب ثاني أكسيد الكربون يتحول لي كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان في الماء مثل تكون معدن الكالسيت والارجوانيت .

٣- **رواسب الفرز :**

تتكون من تركيز حبات المعادن الثقيلة الأكثر كثافة عند المنخفضات والأماكن خفيفة الانحدار مثل الذهب ، الماس ، البلاتين ، الرمال السوداء على شواطئ البحر.

ثالثا: خامات التحول :

وهي الخامات التي تتكون بفعل الحرارة الشديدة أو الحرارة والضغط معا مما يؤدي إلى تغير كامل أو جزئي في الصخور منتجة خامات معدنية جديدة (صخور متحولة) وسبب ذلك أما:

١- تداخل ناري (ماجماتي).
٢- محاليل مائية حارة.

وتنقسم هذه الخامات:

١- **خامات التحول التماسي (الحراري):**

وتتكون نتيجة تداخل ناري أو محاليل مائية حارة في الصخور مثل تحول معادن الحديد المائية إلى هيماتيت أو ماجنتيت .

٢- **خامات التحول الإقليمي (حرارة وضغط معا):**

تتكون نتيجة هبوط الصخور إلى أعماق كبيرة مما يؤدي إلى تركيز البعض العناصر وتكون خامات فلزية مثل خامات الحديد ، خامات الجرافيت ، الاردواز.

نشأة وتكون المعادن والرواسب والخامات المعدنية :

في البداية يمكن إعطاء تفسير مبسط ومختصر لتكون الخامات والرواسب المعدنية ، وهو انها تكونت نتيجة لعمليات تفاعل كيميائية وحركات وظواهر طبيعية حدثت في باطن الأرض وفوق سطحها الخارجي .

ويمكن إرجاع نشأة المعادن والخامات والرواسب المعدنية وتكوينها في الطبيعة إلى أربعة عوامل أساسية هي :

1 -وجود غازات منبعثة من " الماجما " الصهير: تتخلل الشقوق والفجوات الموجودة في الصخور مما يأثر في المعادن المنتشرة في هذه الشقوق ويعمل على تركزها وتبلورها فتتكون عروق رواسب الخامات المعدنية ويحدث هذا كثيراً بالقرب من فوهات البراكين حيث تتصاعد غازات المواد المتسامية التي لا تلبث أن تتكثف بالقرب من فوهة البركان مرسبة بلورات معادن مختلفة . وقد يحدث أيضاً أن تتفاعل الغازات النشطة في جوف الأرض مع المعادن والصخور التي تقابلها لتكون معادن جديدة مثال ذلك خامات التنجستن والقصدير المرتبطة بالصخور الجرانيتية.

2 -وجود شقوق في صخور القشرة الأرضية يندفع خلالها الصهير أو " الماجما " وعندما يبرد الصهير ويتجمد تتكون الرواسب والخامات المعدنية وتتباين المعادن الموجودة في الصهير في درجة الحرارة وبالتالي في العمق الذي تتجمد وتتركز فيه.

3- وجود مياه ساخنة منبعثة من الصهير تؤدي إلى تبلور المعادن فتعمل المحاليل الساخنة على إلتصاق المعادن المتبلورة في الشقوق والفجوات الموجودة في الصخور فتتكون بذلك العروق ورواسب الخامات المعدنية

4- نتيجة لتغير الظروف المحيطة بالمعادن الموجودة في الصخور الأرضية المختلفة فقد ترتفع درجة حرارة الوسط الذي توجد فيه ، او يرتفع الضغط الواقع على المعدن نتيجة لحركات القشرة الأرضية فتضغط الصخور والطبقات بعضها على بعض ، أو يتعرض المعدن لموجة من الأبخرة والغازات النشطة التي تغير الجو الكيميائي المحيط بالمعدن ، أو قد تشترك كل هذه الظروف مجتمعة مع بعضها وفي كل حالة من هذه الحالات لابد أن يكيف المعدن نفسه مع الوسط والظروف الجديدة حيث يتحول المعدن الأصلي إلى معدن جديد مختلف تماماً عنه ليتلاءم مع الظروف الجديدة .

أشكال وجود المعادن في الطبيعة :

عرفنا أين تتواجد المعادن وكيف نشأت . والسؤال الآن هو : هل توجد بمفردها أم توجد في شكل مجموعات مختلطة ؟ وهل هذه المجموعات متماسكة مع بعضها البعض أم سائبة ؟ وما هو الشكل الناتج عن هذه المجموعات والمخاليط الطبيعية ؟

وللإجابة عن هذه التساؤلات لابد من التعرف على بعض المصطلحات العلمية الخاصة بالمعادن وهي : المعادن ، الخامات المعدنية ، الرواسب المعدنية .

ويقصد بالمعادن هي : كافة المواد التي تستخرج من باطن الأرض وتتألف من مركبات كيميائية متجانسة تكونت معظمها نتيجة إندماج العناصر الطبيعية.

أما الخامات المعدنية فهي : مواد متجانسة إلى حد كبير تتألف من مكونات فلزية يمكن إستخلاصها من الخامات عن طريق التنقية أو الصهر حسب طبيعة الخامات ومن هذا التعريف نلاحظ أن الخامات المعدنية يقصد بها المعادن الفلزية كالحديد والنحاس دون المعادن اللافلزية كالكبريت والفوسفات.

وتعرف الرواسب المعدنية بأنها : أجزاء من قشرة الأرض تضم معدناً أو أكثر يمكن إستغلالها على مستوى إقتصادي لجودة خصائصها وتوفرها بكميات تمكن من إستغلالها على نطاق واسع. وقد تمكن الإنسان من إكتشاف عدد كبير من المعادن تجاوز الألفين وتشكل هذه المعادن العناصر المختلفة التي تتألف منها القشرة الأرضية.

وتتعد الأشكال التى توجد فيها المعادن في قشرة الأرض وذلك حسب الظروف الجيولوجية التي تكونت خلالها ويمكن تحديد هذه الأشكال فيما يلي :

1 -العروق :
قد يوجد المعدن في شكل عروق تتخلل الصخور وذلك في النطاقات التي تركزت معادنها في زمن لاحق لتكون الصخور .

2- معادن متركزة في التكوين الصخري:
تكون المعادن في هذه الحالة جزءاً من الصخور ، حيث أنها كانت ضمن الصهير قبل أن يبرد أو يتجمد فكونت أجزاءً مستقلة عن الصخور رغم أنه داخلها ويحدث ذلك عندما تمتزج بعض العناصر المعدنية بتكوين قلوي أو حمضي في الصخور . مثال ذلك الألماس والبلاتين والنيكل وهي معادن توجد في الصخور القلوية ، بالإضافة إلى التنجستن والقصدير وهي معادن توجد في الصخور الحمضية .

3- خامات طباقية:
تتركز بعض المعادن في شكل طبقات أفقية وليس في شكل عروق وقد تتكون بعض هذه الطبقات المعدنية عن طريق الترسيب المباشر للعناصر المعدنية في قيعان المسطحات المائية سواء كانت بحيرات أم بحار كبعض خامات الحديد. وقد يتكون البعض الآخر من هذه الطبقات المعدنية نتيجة لعامل الترسيب بالتبخر من المسطحات المائية الضحلة كما هي الحال بالنسبة لخامات الجبس وأملاح البوتاس .

وقد تتحلل الصخور السطيحة في بعض الأقاليم وتنجرف العناصر القابلة للذوبان في حين تظل العناصر الأخرى في مكانها لتكون خامات معدنية مركزة وقد تكونت بهذه الطريقة خامات البوكسيت وبعض الطبقات الأفقية الحاملة لخامات النيكل والمنجنيز .

4- معادن في الرواسب الطينية :

توجد بعض الخامات المعدنية في الرواسب الطينية التي تضم الرمال والطمي وذلك في قيعان الأودية النهرية والسهول وقد تظهر رواسب أحدث جيولوجياً من هذه الرواسب فتشكل تكوينات صلبة مندمجة التكوين تكونت في ظروف طبيعية مماثلة لتلك التي تكونت فيها العروق وتقصر المعادن التي توجد في الرواسب الطينية على تلك الأنواع المقاومة للمياه دون أن تتحلل فيها ويأتي الذهب والقصدير في مقدمة هذه المعادن التي تضم أيضاً الألماس والتنجستن وبعض الأقل انتشاراً كما هي الحال بالنسبة للزركون والسلينيوم والمونازيت.

. أنواع الموارد الجيولوجية:

تعرف الموارد الجيولوجية geologic resources بأنها مواد ذات قيمة من أصل جيولوجي ويمكن استخراجها من الأرض .

وهناك ثلاث مجموعات رئيسية من الموارد الجيولوجية وهى :

١- موارد الطآقة energy resources _ وتشمل البترول (الزيت الخام والغاز الطبيعي) والفحم واليورانيوم ، بالإضافة إلي موارد أخرى مثل موارد الحرارة الأرضية.

٢ - الموارد المعدنية mineral resources وتشمل:

أ- الموارد الفلزية metallic resources : وتشمل الحديد والنحاس والألومنيوم والرصاص والزنك والذهب والفضة وعديدا من الفلزات الأخرى.

ب - الموارد اللافلزية nonmetallic resources: وتعرف أيضا بالمعادن الصناعية أو الصخور الصناعية، مثل الكبريت وأحجار الزينة والجبس والمخصبات والرمل والحصى وأحجار البناء والحجر الجيرى (اللازم لصناعة الأسمنت)، وعديد من المواد الأخرى.

تقسم المصادر و الخامات المعدنية حسب كيفية استخدامها إلى قسمين ، أولهما : الخامات الفلزية ، و ثانيهما : الخامات اللافلزية . و الآن دعونا نتحدث و بقليل من التفصيل عن كلا النوعين .

المعادن العنصرية الفلزية Native metals:

الذهب (Au) ، المكعب.
الفضة (Ag) ، المكعب.
النحاس (Cu) ، المكعب.
البلاتين (Pt) ، المكعب.

المعادن العنصرية اللافلزية: Native Nonmetals

الكبريت (S) ، المعيني القائم والميل الواحد.
الألماس (C) ، المعكب.
الجرافيت (C) ، السداسي.

- **المصادر المعدنية الفلزية : METALLIC MINERAL RESOURCES**

يستهلك العالم كميات كبيرة من الحديد و النحاس و الكروم و الألومنيوم و عناصر أخرى . و هذه فلزات يجري استخلاصها من معادن تحتويها تسمى المصادر المعدنية الفلزية . و تقسم الثروات الفلزية إلى فلزات قاعدية Base Metals مثل النحاس و الرصاص و فلزات ثمينة Precious Metals مثل الذهب و الفضة و البلاتين . كما يمكن تصنيف الفلزات المستخرجة من هذا النوع من الخامات حسب تركيزاتها في القشرة الأرضية إلى فلزات شائعة بتراكيز تزيد عن ٠ . ١% و فلزات شحيحة بتراكيز تقل عن ٠ . ١% .

تضم معادن الذهب والفضة والنحاس والبلاتين:

الذهب (Au) :

يتبلور الذهب في فصيلة المكعب ، النظام الكامل التماثل (سداسي الثماني الأوجه Hexoctahedral) . والشكل الغالب على البلورات هو ثماني الأوجه. وقد تكون البلورات في هيئة مفلطحة أو شجرية متشابكة. ويوجد المعدن غالبا في هيئة صفائح غير منتظمة الشكل أو قشور أو كتل. الصلادة = ٢,٥ – ٣ ، الوزن النوعي = ١٥,٦ – ١٩,٣. قابل للسحب والطرق. ولا يوجد انفصام ومكسره مسنن. اللون أصفر ذهبي فاقع أو فاتح تبعا لكمية الفضة المختلطة مع المعدن.



في مصر فيعتبر الذهب أكثر المعادن انتشارا في الصحراء الشرقية حيث يوجد في حوالي ٥٠ منطقة ، وقد فتح قدماء المصريين المناجم في معظمها واستخلصوا منها الذهب إلى درجة كبيرة.

ويمكن تقسيم هذه الأماكن حسب مكان وجودها في الصحراء الشرقية إلى ثلاثة أقسام هي:

(١) الجزء الشمالي الأوسط: ويشكل مناجم مختلفة وأهمها أبوجريدة وسمنة وعطا الله وأم عش والفواخير ، وهذه يمكن الوصول إليها من النيل عن طريق قنا – القصير.

(٢) الجزء المتوسط الأوسط: ويشمك مناجم أوب دبا وزيدان وكريم وأم الروس.

(٣) الجزء الجنوبي الأوسط: ويشمل مناجم البرامية والدنجاش وحمش وحنجلية والسكرية وعتود وكردومان. وهذه يمكن الوصول إليها عن طريق ادفوا – مرسى علم ، والأربعة الأخيرة قريبة من البحر الأحمر.



جبل السكري



منجم السكري

الفضة (Ag):

تتبلور الفضة في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الاوجه. البلورات نادرة وغير كاملة ، وتكثر المجموعات الشجرية والمتشابكة ، ويوجد المعدن عادة في هيئة كتل غير منتظمة أو صفائح أو قشور أو في هيئة أسلاك رفيعة أو سميكة. الصلادة = ٢,٥ – ٣ ، الوزن النوعي ١٠,٥ عندما يكون المعدن نقيا ، ١٠-١٢ إذا كان المعدن غير نقي. المكسر مسنن ، قابل للطرق والسحب ، البريق فلزي. اللون والمخدش لونهما أبيض فضي ، ولكن اللون يكون عادة بنيا أو أسود رصاصيا نتيجة للصدأ. توجد رواسب الفضة بكميات كبيرة في العروق المائية الحارة.

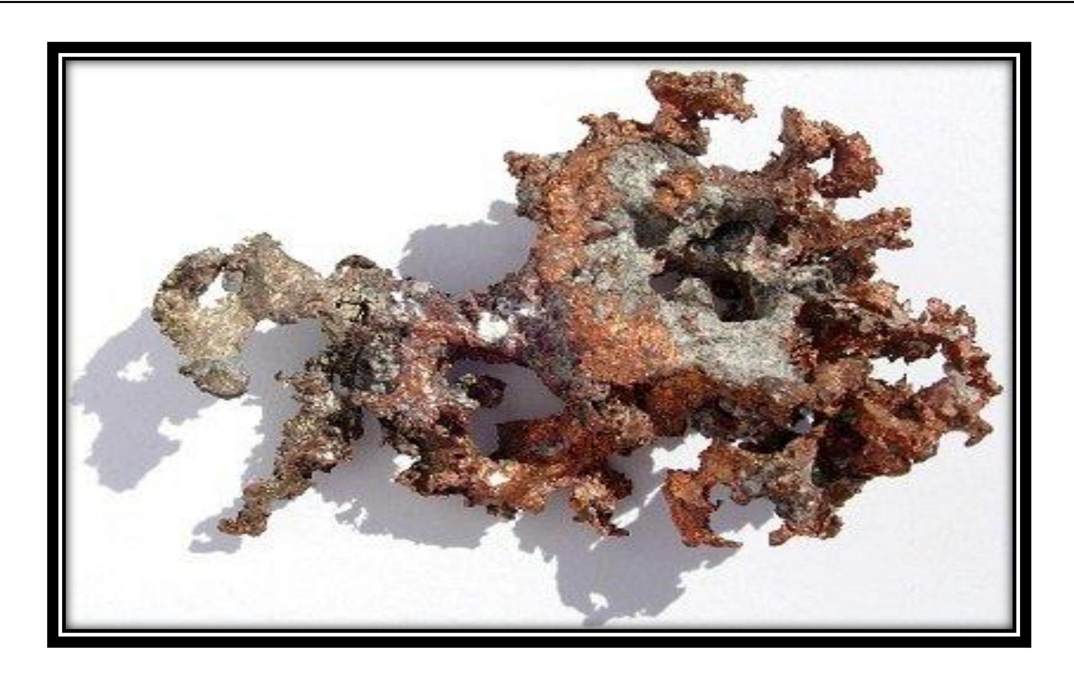
وهناك ثلاثة أنواع من هذه العروق:

(١) عروق تحوي الفضة العنصرية مع الكبريتيدات ومعادن الفضة الأخرى.
(٢) عروق تحوي الفضة مع معادن الكوبالت والنيكل.
(٣) عروق تحوي الفضة مع خام اليورانيوم (يورانيوم UO2).
وتستخدم الفضة في صناعة المجوهرات والحلي والعملة الفضية ، وكذلك في صناعة بعض الأجهزة الفيزيائية والكيميائية والطبية وأفلام التصوير.



النحاس (Cu) :

يتبلور معدن النحاس في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه . توجد على البلورات أشكال رباعي السداسي الاوجه وكذلك المكعب والإنثى عشر وجها معينا وثماني الأوجه. المجموعات المتبلورة في هيئة شجرية أو متفرعة وعادة يوجد المعدن في هيئة كتل غير منتظمة أو صفائح أو قشور. وفي بعض الأحيان يوجد في هيئة أسلاك. الصلادة = ٢,٥ – ٣ والوزن النوعي = ٨,٩. قابل للسحب والطرق. المكسر مسنن. اللون أصفر نحاسي على السطح الحديث ولكنه يميل إلى السواد ويصبح العرق مطفي على السطح الصدئ.



يوجد المعدن العنصري بكميات صغيرة في العروق المائية الحارة ويتأكسد المعدن عادة في المناطق السطحية الأكسيدية ، ويوجد معه في هذه الحالة معادن كوبريت (Cu_2O) ، ملاكيت ، أزوريت (كربونات النحاس القاعدية).

يعد النحاس أحد أهم المعادن الفلزية تتواجد خامات النحاس فى مصر مختلطة بخامات الزنك والرصاص بمناطق كثيرة جنوب الصحراء الشرقية في محافظة البحر الأحمر وأهم هذة المناطق هى :

منطقة أم سميوكي : و تقع جنوب غرب مدينة مرسي علم بحوالي (١٥٠كم) وإلى الجنوب الغربي من ميناء أبو غصون بحوالي (٩٠ كم) ويتواجد الخام فيها على هيئة عدسات ذات أبعاد متوسطة حيث يوجد في نطاقات القص (Shear Zones) المبلورة بصخور كربونات التلك (Talc Carbonates) القاطعة في صخور الريولايت (Rhyloites) والانديزايتK (Andesites)

· منطقة أبو سويل : تقع شرق مدينة أسوان ويتواجد الخام فيها على هيئة عدسات ذات أبعاد متوسطة .

· منطقة جابرو عكارم : تقع المنطقة في وسط الصحراء الشرقية ، علي بعد (١٣٠ كم) شرق اسوان و(٢٤ كم) جنوب جبل حمر عكارم ، ويتواجد خام النحاس في صخور البريدوتيت المتمعدن (Predotite) .

يستخدم النحاس بكميات كبيرة في الصناعة فتستهلك كميات كبيرة منه في صناعة الأسلاك النحاسية والمسامير والصفائح النحاسية والنحاس الأصفر والبرونز والأجهزة اللاسلكية والكهربائية والذخائر الحربية. وكذلك في صناعة العملة والأغراض الكيميائية ، ويقال أنه يوجد أكثر من ٦٠٠ إستعمالا مختلفا لا غنى للنحاس عنها.



حفر في ممكن النحاس بوادي يبا: وهو أحد تواجدات النحاس التي تم اكتشافها بواسطة هيئه المساحة الجيولوجية السعودية.



الملاكيت في وادي يبا كمثال لأحد مواقع النحاس والذي تغطي فيه طبقات من معادن كربونات النحاس الثانوية والتي كانت ألوانها علامة استرشاديه للعاملين في مجالات التنقيب عن تمعدن النحاس سلفاً.

البلاتين (Pt):

يتبلور معدن البلاتين في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه. البلورات مكعبة ولكنها نادرة ، يوجد المعدن غالبا في هيئة قشور أو حبيبات أو كتل غير منتظمة. الصلادة = ٤ – ٤,٥ (تعتبر عالية بالنسبة لفلز). الوزن النوعي = ٢١,٤ عندما يكون نقيا ، ولكن عادة يتراوح بين ١٤ – ١٩ لوجود شوائب. معتم قابل للطرق والسحب. اللون أبيض فضي أو رصاصي. بريق ناصع ، ربما يكون مغناطيسيا إذا كان يحتوي على كمية كبيرة من الحديد.

التركيب الكيميائي: عنصر البلاتين ، ولكنه عادة يحتوي على الحديد (تبلغ نسبته ١٩,٥%) وكميات بسيطة من الإريديوم والروديوم والاوزميوم والنحاس وفي بعض الأحيان الذهب.



يوجد البلاتين في معظم الحالات في الهيئة العنصرية إذ لا يوجد غير معدن واحد نادر الوجود (سبيريليت Sperryliter) يتركب من البلاتين والزرنيخ. ويوجد البلاتين في الرواسب الأولية في الصخور فوق القاعدية وخصوصا صخر الدونيت Dunite حيث يوجد مع معادن الأوليفين والكروميت والبيروكسي والماجنتيت. ولكن المعدن يوجد بكميات اقتصادية في الرواسب الثانوية المعروفة باسم رواسب التجمعات الناتجة من تفتت وتحلل الصخور الأولية الحاملة للبلاتين والتي تتجمع بالقرب من مصادرها (البلاتين وزنه النوعي كبير). ومن أمثلة رواسب التجمعات الرواسب الموجودة في كولومبيا بجنون أمريكا ، والاتحاد السوفييتي (جبال الأورال) ، وكندا (التي تعتبر أكبر منتج لهذا المعدن الآن).

يستعمل البلاتين بكميات كبيرة كعامل مساعد في صناعة أحماض الكبريتيك والخليك والنيتريك. وكذلك في صناعة الأجهزة الكيميائية والفيزيائية والكهربائية وفي صناعة المجوهرات والأسنان والساعات غير المغناطيسية وأدوات الجراحة.

- **المصادر المعدنية اللافلزية : NONMETALLIC RESOURCES**

لا تستخدم المصادر المعدنية اللافلزية من أجل فلزات قد تحتويها ، و لكنها تستخدم لخصائصها كمركبات كيميائية مثل الملح و الجبس و المعادن الطينية . و يمكن تصنيف المصادر المعدنية اللافلزية حسب استعمالاتها في البناء و تعبيد الطرق و إنتاج الأسمدة و الكيماويات ، و هي الأكثر استخداما في عالم الصناعة . تخيل فقط ما تستهلكه البشرية من حجارة للبناء و ملح للطعام ، و اسمنت و زجاج و أسمدة ، و كلها مواد تمثل معادن لا فلزية .

الكبريت (S):

يتبلور الكبريت في فصيلة المعيني القائم ، نظام الهرم المنعكس. البلورات في هيئة هرمية ، يوجد عادة في هيئة كتلية غير منتظمة وكذلك في مجموعات كبوسة ، استلاكتيتية ، ترابية.

ويوجد الكبريت في ثلاثة أشكال بلورية: النوع الشائع الموجود في الطبيعة هو المعيني القائم ، أما الشكلان الآخرن فيتبعان فصيلة الميل الواحد ونيدر وجودهما كمعادن. الصلادة = ١,٥ – ٢,٥. الوزن النوعي = ٢,٠٥ – ٢,٠٩. المكسر محاري أو غير مستو. قابل للكسر. البريق صمغي أو راتنجي. اللون أصفر كبريتي ولكنه قد يكون أصفر مائلا إلى الخضرة أو الرمادي أو الأحمر حسب الشوائب الموجودة. شفاف إلى نصف شفاف. موصل ردئ للحرارة حتى إذا أمسكنا البلورة باليد وقربناها من الأذن فإنا نسمع فرقعة ، نتيجة لتمدد السطح الخارجي للبلورة الذي سخن باليد بينما الجزء الداخلي – نتيجة للتوصيل الردئ للحرارة – لا يزال باردا ولم يتأثر.

التركيب الكيميائي : عبارة عن عنصر الكبريت ، ولكن قد توجد شوائب من مواد طينية وأسفلتية. وقد تحتوي بعض أصناف الكبريت على عنصر السيلنيوم.

الكبريت سهل الانصهار ، درجة الانصهار ١ (١١٢,٧°م) ويحترق المعدن بلهب أزرق وينتج غاز ثاني أكسيد الكبريت. غير قابل للذوبان في الماء أو الأحماض ولكنه يذوب في ثاني كبريتيد الكربون. يتميز المعدن بلونه الأصفر وسهولة احتراقه. نظرا لعدم وجود انفصام به فإنه يتميز بسهولة عن معدن أوربيمنت (كبريتيد الزرنيخيك).



يوجد الكبريت بكميات كبيرة في الصخور الرسوبية وينتج عادة من اختزال المعادن الكيميائية مثل الجبس. ويوجد المعدن مختلطا مع معادن سلستيت والجبس وأراجونيت وكالسيت ، كما توجد رواسب الكبريت حول فوهات البراكين حيث ترسب المعدن من الغازات المتسامية والصاعدة من المداخن البركانية. وقد يوجد الكبريت نتيجة لنشاط البكتريا الكبريتية. أهم مناطق إنتاج الكبريت هي ولايات لويزيانا وتكساس بأمريكا.

ويستخرج الكبريت من هذه الرواسب بطريقة براش Frash method ، حيث يدفع الماء فوق الساخن Superheated (درجة ١٦٠°م تقريبا) والهواء المضغوط إلى طبقات الكبريت بواسطة الأنابيب فينصهر الكبريت ويسحب إلى السطح ثم يترك لبيرد ويتجمد في أحواض خاصة. وتبلغ درجة نقاوة الكبريت الناتج ٩٩,٥% .

توجد رواسب الكبريت في مصر مختلطة مع رواسب الجبس والأنهيدريت التابعة لعنصر الميوسين والمنتشرة على طول ساحل البحر الاحمر ، وأهم هذه المناطق هي جبل الزيت ومنطقة جمسة في الجزء الشمالي من الصحراء الشرقية بالقرب من الغردقة ، ومنطقة رنجة في

الجزء الجنوبي من الصحراء الشرقية. وفي كلتا المنطقتين يوجد المعدن في كتل عدسية الشكل أو شريطية في هيئة بلورات صغيرة أو مجموعات بلورية عنقودية أو ككتل.

يستخدم الكبريت في صناعة حامض الكبريتيتك والثقاب ومسحوق البارود والأسمدة الكيميائية والكاوتشوك وفي الأغراض الطبية والأسمنت والعوازل الحرارية والكهربائية وتبييض الحرير والقش والمواد الصوفية وكذلك في عمليات تحضير لب الخشب اللازم لصناعة الورق.

الألماس (C):

يتبلور الألماس في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه. البلورات وفي العادة ثمانية الأوجه ولكن توجد بلورات كثيرة مفلطحة أو طويلة الهيئة. بعض الأوجه البلورية قد تكون منحنية أو ذات حفر. يندر وجوده في هيئة كتلية. بعض البلورات توأمية (قانون سبينيل). الصلادة = ١٠ (أصلد مادة معروفة). الوزن النوعي = ٣,٥. انفصام كامل {١١١} ، {١١١̄}. البريق ألماسي ولكن البلورات غير المصقولة لها بريق شحمي مميز. وتعزى الألوان النارية التي تميز الألماس وتجعل منه حجرا كريما إلى معامل انكساره العالي ٢,٤٢ وإلى خاصية التفرق الضوئي القوية Strong dispersion. اللون عادة أصفر باهت أو شفاف ، ولكن يوجد بعض البلورات لها ألوان باهتة إما حمرء أو برتقالية أو خضراء أو زرقاء أو بنية. ويطلق اسم "كبرونادو" Carbonado أو "الكربون" على النوع الأسود الحبيبي الخشن السطح (يستعمل في الصناعة). التركيب الكيميائي عبارة عن عنصر الكربون النقي. لا يذوب المعدن في الأحماض أو القلويات. ولكن عند درجات الحرارة العالية وبوجود الأكسجين يحترق المعدن إلى غاز ثاني أكسيد الكربون دون أن يترك أي رماد. ويتميز الألماس عن المعادن المشابهة له بصلادته العالية وبريقه الألماسي والانفصام الكامل.



يوجد الألماس في الطبيعة في الرمال والحصى المكونة للطبقات والشواطئ النهرية حيث يقاوم المعدن عوامل التحلل والتفتت. ويوجد الألماس أيضا في أحد أنواع الصخور فوق القاعدية (البيريدوتيت) المعروف باسم كمبرليت Kimberlitre (نسبة إلى كمبرلي في جنوب أفريقيا). وهناك أربع دول تنتج تقربا جميع إنتاج العالم من الألماس ، هذه الدول هي: اتحاد جنوب أفريقيا وزائير والهند والبرازيل. وفي الوقت الحاضر تنتج القارة الأفريقية وحدها ما يقرب من ٩٥% من إنتاج العالم للماس. فيعتبر المنتج الرئيسي لنوع المجوهرات من الماس.

يستخلص الألماس من الرمال والحصى وكذلك من الصخور التي يوجد بها بعد تكسيرها بواسطة الغسيل ، فترسب المعادن الثقيلة ومن بينها الألماس وتفرز باليد ، ولكن حاليا تستخدم ألواح

مطلية بالشحم بمرر عليها الماء المعلق به المعادن المختلفة فتلتقط الألواح المشحمة الألماس نظرا لخاصيته الكبيرة في الالتصاق بالشحم دون سائر المعادن الأخرى.

يستعمل الألماس إما في :

(١) الصناعة .

(٢) المجوهرات.

أما الألماس المستخدم في الصناعة فغالبا ما يكون ملونا ومليئات بالفواصل ومناطق الضعف وبعض الشوائب ولا يصلح في صناعة المجوهرات. وتستعمل القطع الكبيرة من هذا النوع في قطع الزجاج ، أما القطع الصغيرة فتستخدم في طحن وصقل الألماس وغيرها من الأحجار الكريمة الأخرى. كما تستخدم آلات قطع الصخور وثقبها كميات من هذا النوع.

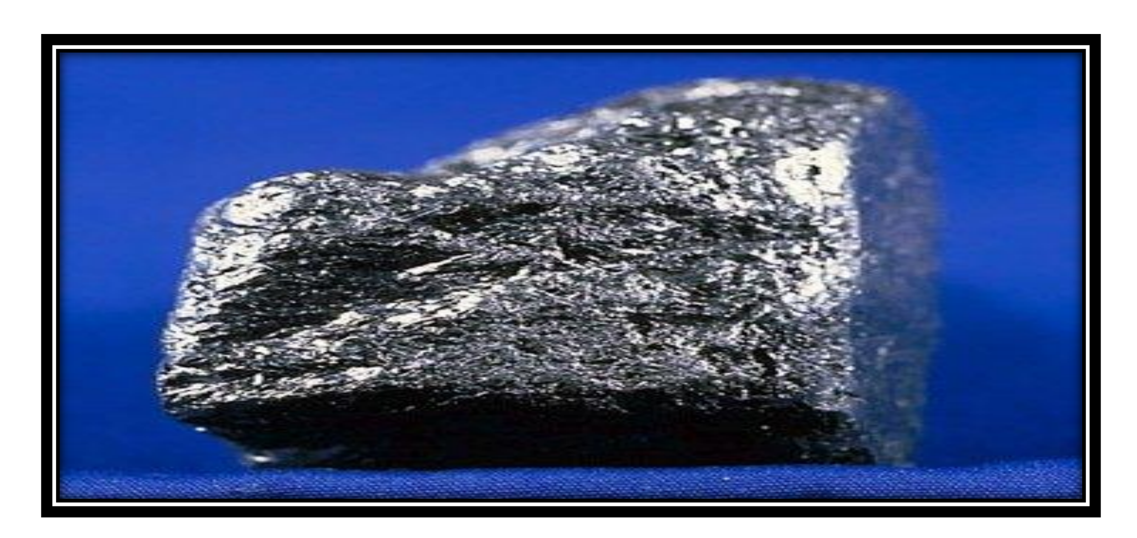
أما النوع المستعمل في المجوهرات فهو الذي يتميز بخواص شفافية اللون ، وخلوه من الكسور ، وتفرق اللون وانكساره به عالي ، لدرجة أن ألوان الطيف ترى في الألماسة كوهج النار. وتبدو هذه البلورات الكريمة عادة بيضاء بزرقة خفيفة. أما وجود لون القش الأصفر في بعض الألماسات فإنه يقلل من قيمتها. أما الألماسات ذات الألوان العميقة من الأصفر أو الأحمر أو الأخضر أو الأزرق فإن قيمتها كبيرة جدا. وتتوقف قيمة الجوهرة الألماسية على لونها ودرجة نقاوتها وحجمها والمهارة ونوع الأوجه التي صقلت على سطحها. ويوزن الألماس بالقيراط Carat (يساوي ٢٠٠ **مللجرام** أو ٠,٢ من الجرام وتبلغ في قطرها في المتوسط ٦ ملليمترات وعمقها ٤ ملليمترات) وأكبر ألماسة عثر عليها في مناجم الترنسفال بجنوب أفريقيا عام ١٩٠٥ بلغ وزنها ٣١٠٦ قيراط (٦٢١,٢ جراما) وسميت باسم "الرئيس" أو "نجمة أفريقيا" وقد قطعت هذه الألماسة إلى تسع ألماسات كبيرة ، ٩٦ ألماسة صغيرة.

وصقل الأوجه الصناعية على جواهر الألماس فن يحتاج إلى مهارة وخبرة كبيرة لنظرا لأن قيمة الألماسة تتوقف على أنواع هذه الأوجه ودرجة إنعكاسها وكسرها لأشعة الضوء وإنتاج البريق المتوهج. وهناك أسماء كثيرة للأنواع المختلفة من الألماسات المقطوعة ، منها المربع والمركيز والمثلث والترابيز والخماسي ونصف القمر. وتعتبر مدينة أنتفيربن Antwerpen (أنتفرب ، أنفرس) ببلجيكا المركز العالمي في الوقت الحاضر لصناعة الألماس حيث يشتغل في هذه الصناعة حوالي ٢٠,٠٠٠ عامل (أي ما يساوي ثلثي عمال الألماس في العالم).

الجرافيت (C):

يتبلور الجرافيت في فصيلة السداسي. نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج البلورات مفلطحة أو صفائحية والأوجه التابعة للسطوح القاعدي ظاهرة ويندر وجود أية أوجه بلورية أخرى ، غالبا في هيئة قشور أو حبيبات ، الصلادة = ١ – ٢ (يترك أثرا أسود على الأصبع أو الورقة البيضاء). الوزن النوعي = ٢,٢ ، انفصام كامل موازي للسطوح القاعدي {١٠٠٠} ، البريق فلزي وفي بعض الأحيان أرضي معتم. اللون أسود إلى رصاصي فاتح. المخدش أسود. الملمس شحمي. قابلة للإنثناء ولكنها ليست مرنة.

التركيب الكيميائي: كربون ، ولكن هناك بعض الأنواع يوجد بها شوائب من أكاسيد الحديد والطين ومعادن أخرى. لا ينصهر الجرافيت ولكنه يحترق في درجات الحرارة العالية ويعطي غاز ثاني أكسيد الكربون ، لا يتأثر المعدن بالأحماض.



يتميز الجرافيت بلونه وصلادته المنخفضة وهيئته الصفائحية. ويفرق بينه وبين معدن المولبدنيت الذي يشبهه في اللون والبريق في أن الجرافيت سالب في تقابلاته الكيميائية أما الموبلدنيت فيعطي أملاح المولبدنوم ، كذلك يعطي مخدشا يميل إلى الخضرة.

يوجد الجرافيت عادة في الصخور المتحولة مثل الصخر الجيري المتبلور والشست والنيس. وقد يوجد في هيئة كتل مركزة أو قشور منتشر في الصخر ولكنها تكون جزئا كبيرا منه ، وقد ينتج هذا الجرافيت من تحول عنصر الكربون أثناء عمليات التحول. وقد ينتج الجرافيت نتيجة التحول الحراري الشديد لرواسب الفحم. وكذلك قد يوجد الجرافيت في بعض العروق المائية الحارة ومصدره في هذه الحالة الصخور المتحولة على جانبي العرق. وتحتوي أنواع قليلة من الصخور النارية على معدن الجرافيت ، وقد وجد المعدن أيضا في بعض الشهب.

توجد أكبر المناطق إنتاجا للجرافيت في جزيرة سيلان ، حيث توجد كتل قشرية من الجرافيت في العروق الموجودة في النيس والصخر الجيري. وفي مصر يوجد الجرافيت في صخور الشست المعروفة باسم الشست الجرافيتي في هيئة كتل عدسية الشكل في الصخور المتحولة التابعة لحثب البريكامبري. وأهم هذه المناطق هي: (١) وادي أم غيج (منطقة وادي سترا) ، (٢) وادي المياه (منطقة بنت أبو جوريا) ، (٣) وادي حمش ، وكلها بالصحراء الشرقية.

يستخدم الجرافيت في صناعة البوتقات الحرارية المستعملة في صناعة الصلب والنحاس الأصفر والبرونز. وكذلك يستعمل المعدن في طلاء أفران المطابخ وبطانات أفران الصهر وصناعة أقلام الرصاص والبويات والشحومات والأقطاب الكهربائية.

وتعتبر الموارد الجيولوجية مصادر غير متجددة nonrenewable resources حيث إن تلك الموارد تتكون ببطء لدرجة أن معدلات الاستهلاك السريع الحالى لها يمكن أن تؤدى إلي استهلاكها بسرعة. فبعض الموارد الأرضية مثل الأغذية ونباتات الغابات يمكن أن يعاد إنتاجها

بمعدل استهلاكها نفسه، فهى مصادر متجددة renewable resources ، أما البترول والحديد والرصاص واليورانيوم والكبريت والرمال والحصى وكذلك كل الموارد الجيولوجية الأخرى فانها تستخدم بمعدلات أكبر بكثير من المعدلات التى تتكون بها الرواسب الجديدة. فالفحم والبترول يستهلكان بمعدل أسرع بكثير من المعدل الذى يتكونان به. وتؤدى هذه الحقيقة إلى تزايد أهمية وجود مصادر متجددة مثل الطاقة الشمسية وهى طاقة لا تنفد، وأيضا الوقود الذى يتكون من أصل عضوى مثل البيوجاز الذى يستخرج من البقايا النباتية وكذلك الطاقة النووية والانشطارية . وهكذا فإن الاكتشافات الجديدة وإعادة تدوير المواد وايجاد البد ائل يمكن أن تساعد فى زيادة عمر بعض الموارد الطبيعية، إلا أنه من المعروف أن بعض هذه الموارد الطبيعية سوف تشح أو تستنفذ كلية خلال فترة زمنية محدودة .

٣ - الموارد والاحتياطيات:

يستخدم مصطلح الموارد resources كمصطلح عام لوصف الكمية الكلية من المادة الجيولوجية المهمة الموجودة فى الرواسب الجيولوجية، سواء تلك التى اكتشفت فعلا أو التى لم تكتشف بعد، وتشمل الرواسب التى تستخرج بطريقة اقتصادية حاليا، وأيضا تلك التى ستستخرج بطريقة اقتصادية فى المستقبل ، والاحتياطيات reserves ، وهى جزء صغير من الموارد الجيولوجية، وتشمل الرواسب المكتشفة والتى يمكن استخراجها بطريقة اقتصادية وقانونية فى الظروف الحالية . وجدير بالملاحظة ، أنه من الصعب تقدير الموارد الجيولوجية، لأن ذلك التقدير لابد أن يشمل تواجد الرواسب التي لم تكتشف بعد، وأحجامها بالإضافة إلي معرفة نوع الراسب الذي قد يكون استخراجه اقتصاديا يوما ما.

وبمجرد أن تقدر كمية الموارد الجيولوجية بدقة، فلا يجب أن يتغير هذا التقدير لاحقا، نظرا لأن تقدير الموارد الجيولوجية يكون أساسا تقديرا للمخزون الكلي للمورد، أما تقدير الاحتياطيات فيتغيرر باستمرار . فاستخراج أى مادة يؤدى إلي خفض الاحتياطيات بينما تؤدى الاكتشافات الجديدة إلي زيادتها ، مثل رصيد الشخص فى البنك يزيد وينقص باستمرار، أما الموارد آلجيولوجية فهى مثل دخل الشخص المتوقع طوال حياته .

ويجب أيضا ان يكون استخراج الراسب مربحاً، وذلك بتحقق عدة عوامل منها أن تكون تكاليف الاستخراج والتى تشمل أجور العاملين ووقود الآلات معقولة، وأن تستخدم تقنيات حديثة فى الاستخراج، وأن تخفض الضرائب على الموارد، وتؤدى كل هذه، العوامل إل زيادة الاحتياطيات أيضا.

تكون المصادر المعدنية:

لكي تتكون المصادر المعدنية لا بد من عملية أو مجموعة من العمليات يحدث منها تركيزا معينا لمعدن أو مجموعة من المعادن . و من أمثلة هذه العمليات :

١. النشاط الماغمي الذي ينتج التوضعات المعدنية خلال عمليات التبلور الجزئي للماغما .

٢. نشاط العمليات الحرمائية التي تتخلل الشقوق و الصدوع في القشرة الأرضية .

٣. العمليات الرسوبية .

٤. التورق الناتج عن عمليات التحول .

٥. نشاط الأمواج و تكون المتابر Placers .

٦. عمليات التجوية و التي تنتج التوضعات المعدنية المتبقية .

- **الآثار البيئية لأعمال التعدين: ENVIRONMENTAL IMPACTS OF MINING**

تتضمن عملية إنتاج الفلزات من خاماتها مراحل عدة بدءا بالتنقيب و انتهاء بالحصول على الفلز مرورا بالاستخراج من المنجم و الطحن و المعالجة و الصهر و التصنيع . و بعد فترة من الزمن يتم التخلص من المنتج . و جميع العمليات السابق ذكرها ينتج عنها آثار ضارة بالبيئة ، يمكن تلخيصها على النحو التالي :

١. آثار على الأرض مثل تشويه معالمها من خلال إزالة الغطاء النباتي و الترابي و صولا إلى جسم الخام و ما ينتج عن ذلك من أكوام للأتربة و المعادن الغثة خلال المعالجة . أما أعمال التعدين تحت سطح الأرض فينتج عنها كهوف كبيرة يمكن أن تعاني من انهيارات و احتمال حدوث خسف لها .

٢. آثار على الهواء مثل تصاعد الأتربة خلال التعدين و الغازات خلال الصهر . أو تلوث الهواء بالإشعاعات الضارة التي يحتويها الخام المستخرج من باطن الأرض .

٣. آثار على الماء مثل تكون مياه المناجم الحامضية و المياه السامة الحاوية على العناصر الثقيلة و التي يمكن أن تنقل بدورها إلى المياه الجوفية .

و عندما ينتهي العمل بمنجم من المناجم يجري تشكيل لجنة لإعادة استصلاح موقعه و تأهيله Mine Site Decommissioning و ذلك بضغط من أنصار الحفاظ على البيئة أو رضوخا للأنظمة و القوانين . و عادة ما يتضمن هذا إعادة تخفيف ميول الأكوام الترابية و مناطق الحفر ، و من ثم تزويد المنطقة بالتربة المناسبة و إعادة زراعة الموقع بالأنواع المناسبة من النباتات حسب النظام البيئي السائد .

استدامة المصادر المعدنية CONSERVING MINERAL RESOURCES

سبق و أن علمت أن المصادر المعدنية قابلة للاستنزاف كونها مصادر غير متجددة و بالتالي لا بد من استدامتها و الحفاظ عليها . و بالإمكان تحقيق ذلك عن طريقين هما : التدوير Recycling و البحث عن بدائل Alternatives لهذه المصادر . و يتضمن الطريق الأول إعادة استغلال ما تلف Scrap من منتجات تصنيع المصادر المعدنية كالسيارات و الطائرات . فالألومنيوم مثلا يمكن استغلاله مما تلف من أدوات و في ذلك توفير هائل للطاقة التي نحتاجها لاستخلاصه من خام البوكسيت . و من الفلزات الأخرى التي يعاد استغلالها من تالف الأدوات : الفضة و النحاس و الرصاص و الحديد . أما الطريق الثاني فيتضمن البحث عن بدائل للمصادر المعدنية و هذا تقليد راسخ عبر التاريخ فقد استعيض عن الحجارة بالبرونز و عن البرونز بالحديد . و في أيامنا الحالية نستخدم نوعا من البلاستيك PVC في صناعة الأنابيب عوضا عن النحاس و الرصاص و الحديد . كما أن اكتشاف الألياف البصرية اختزل الحاجة للنحاس لصناعة أسلاك التلفونات .

. الرواسب المعدنية والخامات (الركازات) :

يعتمد البحث الناجح عن المعادن المستخدمة فى الصناعة على وجود الرواسب المعدنية التى يتم استخلاص المواد المطلوبة منها بأقل تكلفة . والرواسب المعدنية mineral deposits هى أى حجم من صخر يحتوى على تركيز عال من معدن أو أكثر . وكلما زاد تركيز المعادن المطلوبة زادت قيمة الراسب. وفى بعض الرواسب تكون بعض المعادن المطلوبة مركزة بدرجة عالية لدرجة أن بعض العناصر النادرة جدا مثل الذهب والبلاتين يمكن رؤيتها بالعين المجردة. ولكل معدن رتبة أو مستوى تركيز grade ، حيث يكون استخراج الراسب الذى تقل درجته عن هذه الدرجة غير اقتصادى وتستخدم كلمة خام للتمييز بين رواسب المعدن المربحة وغير المربحة. ويعنى مصطلح خام (ركاز) ore تجمعاً من المعادن يمكن استخراج معدن أو أكثر من معدن منه بصورة مربحة.

وتعتبر كل الخامات رواسب معدنية لأن كلا منها إثراء محلى لمعدن أو أكثر من معدن، أو أشباه المعادن. ومع ذلك، فالعكس ليس صحيحاً، إذ ليست كل الرواسب المعدنية خامات . "فالخام" ore هو مصطلح اقتصادى ، بينما ´´الراسب المعدني´´ هو مصطلح جيولوجى .

ويعتمد اعتبار المعدن (أو الصخر) خاما من عدمه على التركيب الكيميائى للخام، ونسبة الفلز المستخرج وقيمة الفلز فى السوق. فيعتبر معان الهيماتيت ((Fe_2O_3 خام حديد جيداً لأنه يحتوى على ٧٠% من وزنه حديد ، وهذه نسبة عالية ومربحة لاستخراج الحديد عند الأسعار الحالية أما الليمونيت ($Fe_2O_3NH_2O$)، وهو ليس معدنا ولكنه أحد خامات الحديد الهامة، فيحتوى على نسبة حديد أقل من تلك الموجودة فى الهيماتيت. وحتى إذا كان المعدن يحتوى على نسبة عالية من الفلز فإنه لا يمكن وصفه بأنه خام، إذا كان الفلز من الصعب جدا استخراجه، أو لوجود شوائب مصاحبة للخام، أو يكون موقع الخام بعيدا جدا عن الأسواق، فالربح هو جزء مهم يحدد أنه خام .

وليس من السهل دائما تحديد درجة أو كمية المعدن بدقة . فمن المعلوم أن ما قد يعتبر خاما فى وقت ما لا يكون خاما فى وقت آخر. ويقدم النحاس مثالا مهما لذلك ، حيث ارتفعت فى الوقت الحاضر درجة النحاس من ٠,٥ إلي ١ % بسبب زيادة الانتاج العالمى من النحاس المستخرج، مما أدى إلي غلق عديد من المناجم .

المعادن الغثة: تكون معادن الخامات مثل السفاليريت والجالينا والكالكوبيريت، والتى يمكن استخراج الفلزات الطلوبة منها، محتلطة بمعادن ليس لها قيمة اقتصادية يطلق عليها مصطلح المعادن الغثة gangue minerals (تنطق جانج) . ومن المعادن الشائعة التى توجد عموماً كمعادن غثة الكوارتز والفلسبار والميكا والكالسيت والدولوميت.

- **أصل الرواسب المعدنية**:

تتكون الرواسب المعدنية نتيجة لعمليات جيولو جية، تؤدى إلي تركيز معدن أو أكثر فى الصخور. ويعتمد تصنيف الرواسب المعدنية على طبيعة العمليات التى يتم بها تركيز المعادن الرئيسية فى الرواسب .

ويتم تركيز المعادن بطرق عديدة من أهمها:

١- التركيز بالعمليات الصهارية فى جسم صخر نارى لتتكون الرواسب المعدنية الصهارية magmatic mineral deposits.

٢-التركيز بمحاليل ساخنة تنساب عبر الكسور والفراغات والمسام فى صخور القشرة الأرضية لتتكون الرواسب المعدنية الحرمائية hydrothermal mineral deposits.

٣-التركيز بعمليات التحول لتتكون الرواسب المعدنية المتحولة metamorphic mineral deposits.

٤- التركيز بالترسيب من ماء بحيرة أو ماء بحر لتتكون الرواسب المعدنية الرسوبية sedimentary mineral deposits.

٥- التركيز بالمياه السطحية فى الأنهار أو المجارى المائية عموما ، أو على امتداد الشاطئ لتتكون رواسب الركيزة (المراقد)placer deposits.

٦-التركيز بعمليات التجوية لتتكون الرواسب المعدنية المتبقية residual mineral deposits ونعر ض فما يلى وصفا لكل من مذه الانواع:

١- الرواسب المعدنية الصهارية:

تعتبر عمليتى الانصهار الجزئى والتبلور التجزيى fractional crystallization طريقتين لفصل بعض المعادن عن بعضها البعض ، وخاصة التبلور التجزيئى الذى يؤدى إلى نشأة رواسب معدنية مهمة. وهذه العمليات هى عمليات صهارية تماما، لذلك فإنه يشار إلى تلك الرو اسب بأنها رواسب معدنية صهارية magmatic mineral deposits ومن أمثلة هذه الرواسب:

البجماتيت: البجماتيت pegmatites هى صخور متداخلة خشنة الحبيبات بشكل غير عادى (أكبر من ١سم) ذات تركيب جرانيتى غالبا، وتوجد عادة على شكل عروق أو قواطع أو عدسات فى باثوليثات جرانيتية .

وتتكون البجماتيت نتيجة التبلور التجزيئى لصهارة جرانيتية تحتوى على تركيزات عالية من بعض الفلزات مثل الليثيوم والبريليوم والسيزيوم والنيوبيوم واليورانيوم (Li. Be. Cs. Nb. U) ويتم تعدين معظم الليثيوم فى العالم من البجماتيت مثل تلك الموجودة فى بيكيتاBikita فى زيمبابوى. وهو أحد معادن خام البريليوم الرئيسية فى البجماتيت.



الكروميت: يؤدى الاستقرار البلورى setting crystal إلي تكون رواسب معدنية مهمة، وهو يحدث عندما ترسب المعادن التى تكونت مبكرا إلي غرفة صهارة أو جسم يبرد من الصهارة. وتكون هذه العملية مهمة في الصهارة البازلتية المنخفضة اللزوجة عندما تتبلور فى غرفة صهارة كبيرة، حيث يكو ن أول المعادن التي تتكون هومعدن الكروميت chromite، وهو معدن رئيسي لخام فلز الكروميوم. ويمكن أن يؤدي استقرار بلورات الكروميت العالية الكثافة على قاع غرفة الصهارة إلي تكون طبقات نقية تقريبا من الكروميت. ويتواجد الكروميت في مصر بصورة غير اقتصادية على هيئة كتل صغيرة وغير منتظمة عدسية الشكل داخل صخور السربنتينيت، في تتابعات الأوفيوليت في جنوب الصحراء الشرقية (مثل مناطق جبل المقسم وأم الطيور ووادي العلاقي وأبو ضهر ووادي غدير). ويأتي معظم إنتاج العالم من الكروم والبلاتين من متداخل واحد ضخم هو البوشفيليد Bushveld Complex في جنوب أفريقيا. وفي مونتانا،

تحتوي جدة موازية ضخمة من قبل الكمبري تسمى معقد ستيل وترStillwater Complex على رواسب معدنية مماثلة تحتوي على فلزي الكروم والبلاتين ولكن بدرجة أقل.

<u>الكمبرليت:</u> يتواجد الماس وهو أكثرالمعادن صلابة، في صخور نارية فوقمافية تسمى كمبرليت Kimberlites ، من اسم مدينة كمبرلي Kimberley في جنوب أفريقيا، حيث توجد تلك الصخور. وقد تداخلت تلك الصخور إلي سطح الأرض من الأجزاء العميقة في القشرة الأرضية أو الوشاح العلوي على هيئة أنابيب ضيقة وطويلة. وقد أوضحت التجارب المعملية أن صخور الكمبرليت الحاملة للماس نشأت عند أعماق كبيرة، لأن الماس الموجود فيها يتكون فقط تحت ظروف من الضغط العالي جدا الذي يوجد في الوشاح. وينبثق الكمبرليت إلي سطح الأرض بسرعة عالية، تحت قوة دفع المتطايرات المضغوطة، مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون. وبالطبع لم ير أحد عملية انبثاق الكمبرليت. وقد شبهها أحد الجيولوجيين بطلقة من بندقية، اندفعت من الوشاح خلال الغلاف الصخري إلي سطح الأرض. وقد وجدت تراكمات غنية بالماس في رواسب طينية على بعد مئات الكيلومترات من أنابيب الكمبرليت حيث نقل بالأنهار التي التقطت كسرات تم تعريتها من الأنابيب، ثم حملت مع المجاري المائية المنسابة.

<u>٢ : مرحلة الميتاسوماتيزم. metasomatis :</u>

وفي هذه المرحلة تتحول الصخور كيميائياً بواسطة المحاليل المتبقية بعد مرحلة البيجماتيت .. ويصاحب هذه العملية نمو معدن جديد أو أكثر على حساب معدن أو صخر آخر قديم ويكون الاثنان مختلفين كيميائياً ومن أبرز الرواسب الخامة والتي تتكون من هذه العملية .. رواسب الـ Skarnوالـ Greisen .

<u>أولاً :رواسب Greisen</u>

فعندما تتداخل الصهارة الجرانيتية في صخور الجرانيت أو الشيست عندها يحدث إحلال للمايكا على حساب الفلسبارات إضافة إلى بعض المعادن الاقتصادية مثل الكاستريت والولفرومايت والذهب والتورمالين .

<u>ثانياً : رواسب Skarn</u>

وهي عبارة عن صخور من الحجر الجيري تحولت بفعل عملية الميتاسوماتيزم ونجد فيها معادن الدايوبسيد والجارنت والإبيدوت والتريمونيت وتختلف نوعية الـ Skarn على حسب محتوى الماجما من المعادن الاقتصادية لذلك فهناك أنواع متعددة من الـ Skarn مثل:

FeSkarns

AuSkarns

WSkarns

CuSkarns

ZnSkarns
MoSkarns
Snskarns

٣- الرواسب المعدنية الحرمائية:

يحتوى عديد من المناجم الشهيرة فى العالم على خامات تكونت نتيجة ترسيب الخامات من محاليل ساخنة تعرف بالمحاليل الحرماثية hydrothermal solution. ومن المعلوم أنه من الصعب اكتشاف أصل المحاليل الحرماثية. فقد تنشأ بعض المحاليل من الصهارة نفسها عندما ينطلق الماء الذائب فى الصهارة فى الصخور المحيطة عندما تصعد الصهارة وتبرد. وتتكون بعض المحاليل الأخرى من مياه الأمطار أو من ماء البحر التى تدور وتتحرك بعمق فى القشرة الأرضية. ان طريقة نشأة المحاليل الحرماثية نتيجة تخلل ماء البحر للقشرة المحيطة على امتداد الحيود المحيطية، حيث يسحن الماء ويصعد لأعلى بواسطة الحمل الدورانى convection ويتفاعل ماء البحر الساخن مع الصخور الملامسة له، مما يسبب تغيرات كيميائية فى كل من الصخور والمحاليل. وعندما تتفاعل المعادن، فان الفلزات الشحيحة مثل النخاس والزنك الموجودة فى الصخر، تنطلق نتيجة الإحلال الأيونى وتصبح مركزة فى ماء البحر الساخن . ونظرا لأن مصدر الحراوة لهذا النوع من المحاليل الحرماثية هو النشاط البركانى لحيود وسط المحيط، كما أن معادن الخام المترسبة تكون دائما كبريتيدات، فإن رواسب المعادن المتكونة من تلك المحاليل تسمى رواسب الكبريتيد الكتلية البركانية النشأة volcanogenic massive sulfide deposits. وأيا كانت الطريقة التى تكونت بها المحاليل الحرمائية، فإنها تصنف عموما إلي ثلاثة أنواع من رواسب الخامات الحرمائية وهى : العروق الحرمائية والرواسب المعدنية المنثورة ورواسب الينابيع الحارة.

- العروق الحرماثية: تعرف العروق الحرماثية hydrothermal veins بأنها أجسام خام محدودة السمك مسطحة (نضيدية) الشكل تكونت على امتداد الكسور والفواصل والصدوع وأسطح التطبق فى الصخور الرسوبية وأسطح التورق foliationأ فى الصخور المتحولة (شكل ٧,١٩). ويمكن أن يتكون الخام من السوائل التى تنساب فى الفراغات على امتداد الكسور. وقد يحل الخام محل الصخور المحيطة بجدران الكسور. وتكون العروق الحرماثية عديداً من الرواسب المعدنية فى العالم من الرصاص والزنك والفضة والذهب والتنجستن والقصدير والزئبق، وفى بعضن الأحيان النحاس.

- الرواسب المعدنية المنثورة: قد تتكون من المحاليل الحرماثية رواسب معدنية فى صورة متناثرة ومبعثرة فى الصخور . وهنا يكون حجم الصخور أكبر بكثير من حجم العروق، وتعرف تلك الرواسب بالرواسب المعدنية المنثورة disseminated mineral deposits وتتبع كثير من رواسب النحاس فى العالم الرواسب المنثورة (وتسمى أيضا رواسب النحاس البورفيرى porphyry copper deposits لأن البلوتون المصاحب يكون عادة ذا نسيج بورفيرى).

ويترسب مع النحاس عديد من الفلزات الأخرى، مثل الرصاص والزنك والموليبدنم والفضة والذهب (وكذلك الحديد ولكن بكميات غير اقتصادية). وتتواجد رواسب النحاس البورفيرى فى مصر بالصحراء الشرقية بمنطقتى حمش وأم جرايات.

- رواسب الينابيع الحارة: عندما تصعد المحاليل الحرمائية إلي سطح الأرض فإنها تكون الينابيع الحارة hot springs. وقد تحتوى هذه الينابيع الحارة على كميات كبيرة من الفلزات الذائبة. وتحتوى بعض الينابيع الحارة فى كا ليفوريا على كميات كبيرة من الزئبق بحيث يكون الماء في مناسب للشرب. ومن أهم الينابيع الحارة تلك الموجودة على قاع البحر، والتى يمكن أن ترسب أحجاما كبيرة من الكبريتيدات الفلزية بكميات كبيرة.

الرواسب المعدنية الحرماثية المتكونة حاليا:

حدث أول اكتشاف للرواسب المعدنية الحرمائية المتكونة حاليا بالصدفة عام ١٩٦٢ م، فحتى ذلك الوقت لم يكن أحد يعرف أين يبحث عن المحاليل الحرمائية الحديثة . فقد اندهش الحفارون أثناء البحث عن البترول فى أمبريال فالي Imperial Valley فى جنوب كاليفورنيا عندما اخترقوا أجاج (ماء ملح مر) brine تبلغ درجة حرارته ٣٢٩ ~ على عمق ١,٥كم. وعندما انساب الأجاج إلي أعلى، فإنه برد وترسبت المعادن من المواد الذائبة فى السوائل . ورسب البثر على امتداد ثلاثة أشهر ثمانية أطنان من المعادن السيليكية التى تحتوى على ٢٠ % من وزنها نحاس و ٨ % من وزنها فضة. وهكذا وجد الحفارون أن محلولاً حرماثياً رسب راسبا معدنيا غنيا تحت ظروف مناسبة، وهذا الاكتشاف يدل على أن الحاضر مفتاح الماضى .

أما الاكتشاف الثانى فقد حدث عام١٩٦٤ م، حين اكتشف علماء البحار سلسلة من أحواض الأجاج الساخن والعالي الكثافة على قاع البحر الأحمر . وقد وجدت أحواض الأجاج فى الأخدود الذى تكون نتيجة مركز الانتشار بين اللوحين العربى والأفريقى المتباعدان . وقد اكتشف العلماء أن ذلك الأجاج مالح للغاية وأكثر كثافة من ماء البحر، ولذلك فإنه يبقى فى الأحواض فى الأخدود، على الرغم من أن درجة حرارة السوائل تصل إلي حوالى ٦٠م. وقد اكتشف عديد من تلك الأحواض الآن .

ويصعد أجاج البحر الأحمر على امتداد الصدوع العادية المصاحبة للخسيف الأوسط في مركز الانتشار، حيث وصل الأجاج إلي تركيبه الحالي خلال التفاعل مع الصخور المحيطة . وقد كان اكتشاف أجاج البحر الأحمر مدهشا، عندما اكتشف أن الرواسب عند قاع أحواض الأجاج تحتوى على رواسب معدنية مثل الكالكوبيريت والجالينا والسفاليويت. وبمعنى آخر، فقد اكتشف علماء البحار رواسب معدنية حديثة مقيدة الطباقية stratabound أثناء تكونها، أى رواسب يقتصر وجودها على وحدة استراتجرافية معينة .

٤- الرواسب المعدنية المتحولة:

يمكن أن يؤدى التحول التماسى (الحرارى) contact (thermal) metamorphism إلي نشأة رواسب التنجستن والنحاس والرصاص والزنك والفضة وفلزات أخرى فى الصخور المحيطة، حيث يزال الصخر كليا أو جزئيا ثم يحل الراسب مكانه . ويحدث ذلك عندما تتفاعل طبقات من الحجر الجيرى مح المحاليل الحرماتية فتتكون أجسام خامات كبيرة وغنية جدا . ومن أهم أمثلة الرواسب المعدنية المتحولة رواسب مارى كاتلين الأسترالية .

٥. الرو اسب المعدنية الرسوبية :

تشمل الرواسب المعدنية الرسوبية sedimentary mineral deposits بعض أهم مصادر المعادن فى العالم. ويتجمع عديد من المعادن الهامة اقتصاديا بالعوامل الكيميائية أو الطبيعية فى العمليات الرسوبية، ومن الرواسب المعدنية الرسوبية رواسب المتبخرات ورواسب الحديد والرواسب المعدنية مقيدة الطباقية.

– الصخور الرسوبية الكيميائية:

تتكون هذه الرواسب نتيجة لبخر المحاليل الملحية وتراكم المواد المعدنية من المحاليل. والمعدن الذي يترسب أولا هو المعدن الأقل ذوبانا ، أما المعدن الأكثر ذوبانات فيترسب في النهاية.ومن أهم أمثلة الصخور الرسوبية الكيميائية الجبس والملح والأنهيدريت.

الجبس Gypsum: وهو أول معدن يترسب بكميات كبيرة عند بخر مياه البحار ، وتحت ظروف مواتية تتكون طبقات سميكة من الجبس. ويتكون الصخر الناتج من حبيبات دقيقة ولكن في بعض الأحيان قد يظهر المعدن في هيئة ألياف أو صفائح . ويوجد الجبس غالبا مع الملح والرواسب المحلية المختلفة وكذلك الجير والطفل حيث تترسب هذه كلها من البحر.

الأنهيدريت Anhydrite: ويلى الجبس في التكوين والترسيب من مياه البحر ، ويوجد مكونا لطبقات مشابهة للجبس ، وغالبا يوجد الاثنان معا بالاضافة إلى رواسب أخرى ملحية.

الملح Salt: يوجد في طبقات ذات سمك كبير وغالبا ما تكون البلورات واضحة . والملح يلي الجبس والانهيدريت في التبلور والترسيب من مياه البحر المتبخرة ، ولذلك غالبا ما يكون الطبقات العليا للتكاوين الجيولوجية والتي تتكون من الجبس والأنهيدريت في الطبقات السفلى. وقد توجد مع بعض أنواع رواسب الملح رواسب من كلوريد البوتاسيوم (سيلفيت Sylvite) وفي هذه الحالة تعتبر مصدرا هاما لأملاح البوتاسيوم.



ومن أمثلة الرواسب الجبسية والملحية تلك الجبال الممتدة على جانبى خليج السويس والبحر الأحمر قرب منطقة البترول فى رأس غارب وفى المناطق الممتدة على الساحل.

الصخر الجيري البطروخي Oolitic limestone: وهو أحد أنواع الصخور الجيرية ويتكون من حبيبات صغيرة (في حدود ٢ ملليمتر على الأكثر) كروية الشكل ، وتشبه بطارخ السمك وقد ترسبت كيميائيا من مياح البحار والبحيرات المالحة تحت ظروف معينة ، وتوجد نواة دقيقة (مكونة من ذرة من الرمل أو قطعة مكسرة من صدفة) داخل كل كرة صغيرة من هذه الكرات الجيرية.

رواسب الاستلاكيت Stalagmites & Stalactites: وهذه هي المعادن المخروطية الشكل المكونة من بلورات الكالسيت والتي تتدلى من سقوف الكهوف الجيرية أو ترتفع قائمة على أرضية هذه الكهوف وقد ترسبت هذه المعادن نتيجة لبخر محاليل المياه الأرضية المحتوية على حامض الكربونيك وكربونات الكالسيوم الهيدروجينية الذائبة فيها.



التراففرتين Travertine: وهو عبارة عن رواسب جيرية من أصل كيماوي ترسبت حول الينابيع الحارة على سطح ال{أض. وتترسب نتيجة لفقدان المحاليل لغاز ثاني أكسيد الكربون وترسيب كربونات الكالسيوم.

الرواسب الكيميائية السليكية Siliceous sinter: وهي رواسب مكونة من ثاني أكسيد السليكون تتكون حول بعض أنواع الينابيع الحارة المتفجرة التي تعرف باسم الجيزر Geysers. وتعرف الرواسب أيضا باسم جيزيريت.

الدولوميت Doloimites: وهذه صخور راسبة مكونة من معدن الدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنسيوم المزدوجة) وهي تشبه الحجر الجيري إلا أنها أثقل قليلا منها وكذلك صلادتها أعلى قليلا ، ولا تتفاعل بسرعة مع حامض الهيدروكلوريك البارد المخفف. ويعقتد أن كثيرا من رواسب الدولوميت قد تكونت نتيجة لتفاعل المحاليل المغنيسية أو المحاليل الأرضية مع الحجر الجيري كما في المعادلة:

$$CaCo2 + MgCl2 = CaMg (CO3)2 + CaCl2$$

الفلنت والشيرت Chert & Flint: هذه صخور كيميائية سليكية ، مكونة من حبيبات مجهرية أو مفتتة متبلورة من السليكات . وتوجد في هيئة كرات أو عدسات أو طبقات رقيقة (متصلة أو غير متصلة) خصوصا في الأحجار الجيرية.

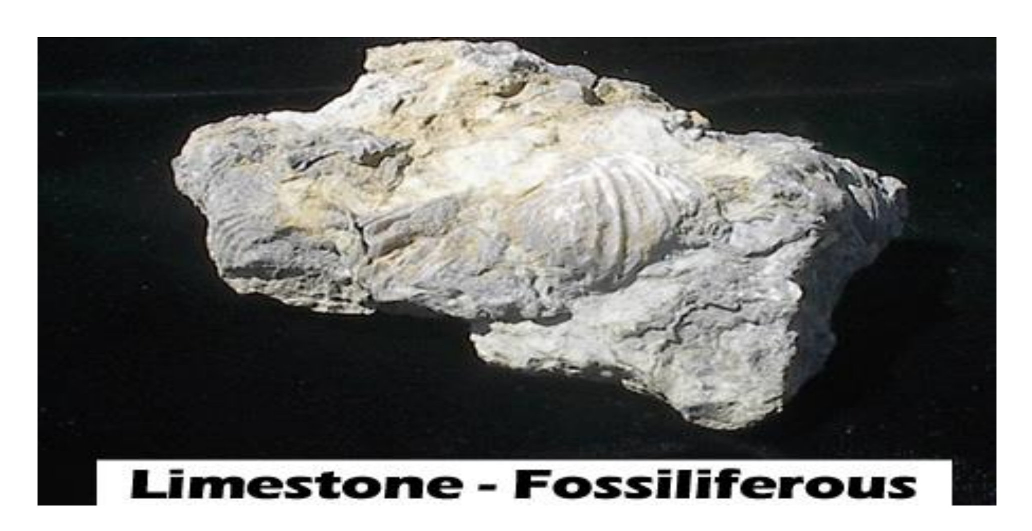




ثالثا – الصخور الرسوبية العضوية:

الصخر الجيري العضوي: وهذه هي أهم أنواع الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا في الأرض. ويرجع تكوينها إلى قدرة بعض أنواع الحياة من حيوانات ونباتات على استخلاص المادة الجيرية من مياه البحار التي تعيش فيها وتحويلها إلى محارات وأصداف لسكانها ووقاية أجسامها الرخوة. وتموت هذه الحيوانات والنباتات فتسقط محاراتها وخلاياها إلى قاع البحر وتكون رواسب جيرية تزداد بمرور الزمن الطويل وتتحول بالضغط ورسوب مواد أخرى بين ذراتها إلى الصخور الجيرية المعروفة. وتعرف الصخور الجيرية العضوية بأسماء مختلفة حسب نوع الأصداف أو المحارات الغالبة في تكوينها فمثلا يوجد حجر جيري صدفي Shelly limestone أو مرجاني Coral limestone أو فورامينفري Foraminifera limestone ... الخ.

وتوجد الصخور الجيرية في مساحات واسعة في مصر حيث تغطي الجزء الشمالي من الصحاري الغربية والشرقية وشبه جزيرة سيناء وتمتد على جانبي نهر النيل من القاهرة حتى قرب ادفو.



الطباشير Chalk: نوع من الصخور الجيرية يمتاز ببياضه الناصع وقلة صلادته بحيث يترك أثرا أبيضا على أي شئ يلامسه ، وهو مكون من ذرات دقيقة أغلبها أصداف حيوانات بحرية وحيدة الخلية.



صخر الفوسفات Phosphate rock: صخر مركب من فوسفات الكالسيوم مع مواد اخرى. وهذا الصخر يتكون في أول الأمر من تراكم عظام حيوانات فقارية بحرية وبرية من أسماك وزواحف تم تحويلها بمضي الزمن إلى فوسفات الكالسيوم (عظام الحيوانات البحرية تحتوي في المتوسط على نحو ٦٠% من فوسفات الكالسيوم).

توجد طبقات هامة لصخر الفوسفات في تونس والجزائر والمغرب وكذلك في مصر قرب البحر الأحمر عند سفاجة والقصير حيث تستغل على نطاق واسع. كما أنها توجد في جهات متفرقة بالصحراء الشرقية وفي وادي النيل قرب السباعية واسنا وفي الصحراء الغربية عند الواحات الداخلة والخارجة. وقد وجد أن بعض صخور الفوسفات تحتوي على نسبة ضئيلة من عنصر اليورانيوم.

والفوسفات من المواد التي تحتاج إليها بعض أنواع المزروعات لنموها وقد تفتقر إليها بعض الأراضي ولذلك تستعمل كسماد (في هيئة سوبر فوسفات قابل للذوبان في الماء) في كثير من البلاد.

٦- **رواسب المتبخرات:** تتكون رواسب معدنية رسوبية مباشرة عندما يتبخر ماء بحيرة أو بحر. وتسمى طبقات الملح الذي يترسب نتيجة البخر برواسب المتبخرات evaporate deposits . وهى تشمل الأملاح التى تحتوي على كربونات الصوديوم (NaCO3) أو كبريتات الصوديوم (Na2SO4) أوالبوراكس (Na2B4 O7. 10H2O) . وقد تم تعدين البوراكس والمعادن الأخرى المحتوية على البورون من رواسب المتبحرات فى البحيرات فى كاليفورنيا والأرجنتين وبوليفيا وتركيا والصين ووادى النطرون فى مصر .

وتعتبر المتبخرات البحرية المتكونة نتيجة تبخر ماء البحر، أكثر شيوعا وأهمية من متبخرات البحيرات. ومن الأملاح المترسبة من ماء البحر الجبس (CaSO4. 2H2O) والهاليت (NaCl) والكارناليت (carnallite KClMgCl2. 6H2O)) . ويؤدى تحول رواسب المتبخرات البحرية عند درجات التحول المنخفضة إلي تكون معدن أخر مهم هو السيلفيت (sylvite (KCl . ويستخلص من المتبخرات البحرية معظم ملح الطعام الذى نستخدمه فى حياتنا اليومية، بالإضافة إلي الجبس المستخدم كجص والبوتاسيوم المستخدم فى أسمدة النباتات.

٧- **رواسب الحديد** تنتشر رواسب الحديد الرسوبى على نطار واسع، ويكون متوسط كمية الحديد فى ماء البحر صغيرا إلى حد أن تلك الرواسب لا يمكن أن تكون قد تكونت من ماء بحر يشبه فى تركيبه ماء البحر الحالي.

ويوجد أكبر خامات الحديد حجما فى صخور رسوبية تتبع ماقبل الكمبرى (البروتيروزوى المبكر أى قبل ٢ بليون سنة أو أكثر)، حيث كان الغلاف الجوى للأرض فقيرا فى الأكسيجين فى هذا التاريخ المبكر. ويعتقد الآن أن تواجد الأكسجين بنسبة منخفضة سمح بانتشار الحديد فى صورة ذائبة، فى شكل جزيء الحديدوز (Fe2+) حيث تم غسله وإزالته بكميات كبيرة من سطح

الأرض. ولقد تم نقل الحديد (Fe2+) فى السوائل بواسطة المياه السطحية إلي بيئات بحرية واسعة وضحلة ، حيث تأكسد إلي جزيء حديد غير قابل للذوبان ((Fe3) ثم ترسب . وقد ترسب الحديد فى العديد من تلك الأحواض فى صورة طبقات رقيقة متبادلة مع طبقات من رسوبيات غنية بالسيليكا تسمى التشرت chert. ويسمى هذا النوع من خامات الحديد باسم متكونات الحديد الشريطى (BIF banded) iron formations). وتعتبر رواسب حديد البحيرات العظمى فى كندا وأمريكا من هذا النوع ، والتى تعتبر المصدر الأساسى لصناعة الحديد والصلب فى الولايات المتحدة الأمريكية . ولذلك يعرف هذا النوع من رواسب الحديد بأنه من طراز ليك سوبريور Lake Superior type. وتتواجد رواسب الحديد من طراز ليك سوبريور فى الأحواض الرسوبية فوق كل رسيخة craton خاصة فى لابرادور وفينزويلا والبرازيل، والاتحاد السوفيتى سابقا وجنوب أفريقيا واستراليا.

ويعتقد بعض الجيولوجيين أن بعض متكونات الحديد الشريطى تنشأ نتيجة نشاط بركانى فى عدد من الأحواض المنفصلة المتواجدة بين أقواس الجزر البركانية، حيث تتواجد كمتكونات قليلة الامتداد وطبقات قليلة السمك . ويعرف هذا النوع من رواسب الحديد بأنه من طراز ألجوما Algoma type .

ويعتبر بعض الجيولوجيين أن رواسب الحديد الشريطى بالصحراء الشرقية بمصر (مثل مناطق أبو مروات وأم نار ووادى كريم ووادى الاباح وجبل الحديد) من طراز ألجوما، حيث تتواجد رواسب الحديد فى تلك المناطق على شكل طبقات وعدسات من الماجنيتيت والمارتيت والهيماتيت قليلة السمك (عدة سنتيمترات إلي١٠ أمتار)، وفى تتابعات من صخور ماقبل الكمبرى، وحيث تعرضت تلك التتابعات لتحول منخفض الرتبة. كما تتميز رواسب الحديد تلك بانتشار الطى والصدوع .

٨-الرواسب المعدنية محصورة الطباقية: توجد بعض خامات الرصاص والزنك والنحاس فى العالم فى الصخور الرسوبية. وتوجد تركيزات معادن الجالينا والسفاليريت والكالكوبيريت والبيريت فى طبقات رقيقة منتظمة تبدو كالرواسب . وينحصر وجودها فى جزء محدد من التتابع الطبقى الذى تنتمى إليه وتكون موازية للطبقات فيه، ولذلك تسمى بالرواسب المعدنية محصورة الطباقية stratabound mineral deposits. وتشبه تلك الرواسب المعدنية الرسوبيات، ويعتقد أنها نشأت نتيجة تغيرات ما بعد الترسيب diagenesis.

وتتكون الرواسب المعدنية محصورة الطباقية عندما يغزو محلول حرماثى راسب دقيق الحبيبات ويتفاعل معها. ويتسبب التفاعل بين حبيبات الراسب والمحلول فى ترسيب معادن الخامات، حيث يحدث الترسيب عادة قبل أن يتحول الراسب إلي صخر رسوبى. وتعتبر رواسب النحاس المشهورة فى زامبيا ورواسب كوبقرشيفر فى ألمانيا وبولندا خامات محصورة الطباقية .

٩- رواسب الركيزة (المراقد) :

ناقشنا فيما سبق الطريقة التى يمكن أن يصبح بها معدن ذو وزن نوعى عالي مركزا بالمياه المنسابة . وتسمى رواسب المعادن ذات الوزن النوعى العالي التى يتم تركيزها ميكانيكيا من المجارى المائية بسرعة أكبر من المعادن الأخف مثل الكوارتز والفلسبار برواسب الركيزة (المراقد) placer deposits. وأهم المعادن التى يتم تركيزها فى المراقد الذهب والبلاتين والكاسيتريت (SnO_2) والماس والزيركون . ويمكن أحيانا تتبع رواسب الركيزة (المراقد) فى اتجاه أعلى النهر إلي موقع الراسب المعدنى الأصلي، والتى تكون عادة ذات أصل نارى، حيث تم تعرية المعادن منها. ولقد أدت تعرية عديد من العروق الحاملة للذهب الموجودة على الجانب الغربى لجبال سيرا نيفادا، إلي تكون رواسب الركيزة التى اكتشفت عام ١٨٤٨ م، وأدت إلي جنون الذهب المعروف فى كاليفورنيا. ولقد تم اكتشاف رواسب الركيزة أولا ثم اكتشف مصدرها لاحقا . ولقد أدى اتباع المنهج نفسه إلي اكتشاف مناجم الماس فى كيمبرلي فى جنوب أفريقيا منذ مائتى عام .

١٠- الرواسب المعدنية المتبقية (المتخلفة) :

تحدث التجوية عندما يتعرض صخر منكشف حديثا وغير مستقر كيميائيا لماء المطر والغلاف الجوى. وتؤدى التجوية الكيميائية إلي إزالة المواد الذائبة فى المحلول وتركيز المعدن المتبقى الأقل ذوبانا. ويعتبر اللاتيريت laterite مثالآ شائعأ على راسب معدنى متبق residual mineral deposit تكون نتيجة الإثراء بالتجوية. حيث يتم تركيز عنصري الحديد والألمنيوم. والليمونيت ($Fe_2O_3 . NH_2O$) هو أحد خامات الحديد الأقل ذوبانا التي تتكون بسبب التجوية الكيميائية. ويتم غسل وإزالة معظم المعادن من التربة ببطء في المناطق القارية الدافئة وتحت الأمطار الشديدة، حيث تترك قشرة من اللاتيريت غير الذائبة تشمل الليمونيت الغني بالحديد. وفي مناطق قليلة مثل جنو ب أفريقيا قد تكون رواسب اللاتيريت غنية بالحديد بدرجة تكفى لاستخدامها كخام حديد.

وعلى الرغم من أن رواسب اللاتيريت الغنية بالحديد هى أكثر أنواع اللاتيريت شيوعا، إلا أن رواسب اللاتيريت الغنية بالألومنيوم والمسماة بالبوكسيت bauxites هى أيضا من أنواع اللاتيريت المهمة خاصة للاستغلال الاقتصادى. ويتكون البوكسيت نتيجة غسل وازالة معادن الصلصال . وهى عملية يتم فيها إزالة السيليكا من الصخور ويبقى معدن الجبسيت $Al(OH)_3$ gibbsite كراسب متبق. ورواسب البوكسيت الغنية بالجبسيت هى أهم مصادر الألمونيوم فى العالم. ويشير تواجد رواسب البوكسيت فى الوقت الحالى فى مناطق معتدلة المناخ، مثل فرنسا والصين والمجر، أن المناخ كان قاريا عندما تكونت رواسب البوكسيت.

. أقاليم التمعدن:

تميل أنواع من الرواسب المعدنية للتواجد في مجموعات، وتكون ما يطلق عليه جيولوجيو الاستكشاف أقاليم التمعدن metallogenic provinces وتعرف تلك الأقاليم بأنها مناطق محدودة من القشرة الأرضية يتواجد فيها رواسب معدنية بأعداد كبيرة . ويوجد فى إقليم التمعدن أكبر تركيز فى العالم من رواسب النحاس الحرمائية . وتكون الرواسب مصاحبة لصخور نارية متداخلة ذات نسيج بورفيرى، ولذلك فإنها تسمى رواسب النحاس البورفيرى porphyry copper deposits ويعتقد أن الصخور النارية المتداخلة، وبالتالي الرواسب المصاحبة لها، قد تكونت نتيجة الاندساس subduction .

- الموارد اللافلزية:

تعتبر الموارد اللافلزية موارد جيولوجية فى مجالات غير استخراج الفلزات أو كمصدر للطاقة، وتحتوى معظم الصخور والمعادن على فلزات، ولكن عندما يتم استخراج الموارد اللافلزية، فإنه يتم استخدام الصخر أو المعدن كما هو (مثل استغلال الرمل والحصى لأغراض البناء)، بينما يتم استخراج الفلز فى الخامات الفلزية بعد إجراء بعض عمليات الفصل والتركيز . والموارد اللافلزية رخيصة الثمن عموماً، ويتم استخدامها بكميات كبيرة، باستثناء الأحجار الكريمة مثل الماس والياقوت. مما يعنى أن تلك الموارد يجب أن يتم استخدامها محليا، نظراً لأن النقل لمسافات طويلة يضيف أعباء مالية على سعر الخام، ومن أمثلة هذه الموارد مواد البناء والمخصبات والمتبخرات بالإضافة إلى بعض المواد الفلزية الأخرى . أ – مواد البناء

يتم استخدام الرمل والحصى فى الخرسانة اللازمة لأعمال البناء وإنشاء الطرق السريعة . كما يستخدم الرمل أيضاً فى الملاط (المونة) اللازم للحم الطوب أو البلوكات الأسمنتية . وتعتبر الكثبان الرملية والأنهار ورواسب الشواطئ ضمن المصادر الرئيسية للرمل والحصى. كما تستخرج أيضا من المخاريط البركانية . ويستخرج الرمل والحصى من حفر سطحية تعرف بالمحاجرquarries.

ويشير مصطلح أحجارstones إلي الصخور التى تستخدم كبلوكات فى أعمال البناء مثل الجرانيت، وأيضا الحجر الجيرى المستخدم فى إنشا، الطرق. وتستخرج الأحجار من المحاجر أيضاً. ويستخدم الحجر الجيرى فى عدد من الأغراض إضافة إلي استخدامه فى البناء أو فى رصف الطرق، حيث يستخدم فى صناعة الأسمنت، كما يستخدم الحجر الجيرى المطحون في تحسين مواصفات التربة، وكمكون رئيسى فى العاديد من المنتجات الكيميائية.

ب- المخصبات والمتبخرات تعتير المخصبات fertilizers (مركبات الفوسفات والنيترات والبوتا سيوم) من أهم المواد اللازمة للزراعة فى الوقت الحالي، حيث تنقل لمسافات طويلة عبر البحار نظراً لأهميتها . وينتج الفوسفات من الفوسفوريت phosphorite وهو صخر

رسوبي يتكون من تراكم وتغير بقايا الكائنات العضوية. ويمكن أن تتكون النيترات ومركبات البوتاسيوم مباشرة بالتبخير.

ويستخرج الملح الصخرى rock salt الذى يتكون من معدن الهاليت من رواسب المتبخرات. ويستخدم الملح الصخرى فى حفظ الطعام والمساعدة فى إزالة الثلج من الطرق فى الأماكن الباردة فى الشتاء، وفى إعداد ملح الطعام وتصنيع حمض الهيدروكلوريك والصابون والعديد من المنتجات الأخرى. ويستخدم الملح الصخرى فى الصناعة على نطاق واسع . ويتكون الجبس gypsum أيضاً كأحد رواسب المتبخرات، وهو أحد المكونات الرئيسية للجص والألواح الجدارية وفى صناعة البناء عموماً وغيرها من الا ستخدامات الأخرى. ويتواجد الكبريتsulfur فى حالة عنصرية فى رواسب صفراء زاهية. ويأتى معظم الكبريت المستخدم بصورة تجارية من الصخور المتواجدة فوق القباب الملحية. ويستخدم الكبريت بصورة كبيرة فى الزراعة كمبيد للفطريات وكمخصب. كما يستخدم فى تصنيع حمض الكيريتيك وإعداد الثقاب والعديد من المنتجات الآخرى.

<u>- المواد اللافلزية الأخرى :</u>

تشمل الأ حجار الكريمة (وتسمى بعد تقطيعها وصقلها جواهر أو أحجار gems) الأ حجار الثمينة مثل الماس diamond والياقوت rubies والزمرد emerald والسافير saphires، بالإضافة إلى المعادن شبه الكريمة semiprecious stones مثل البريل والجارنت والسبينل والتوباز والزيركون. ويستخدم الماس فى أدوات الحفر ومناشير تقطيع الصخور.

والاسبتوس ىasbestos آحد أنواع السربنتين الموجود فى صورة ألياف يمكن فصلها ونسجها فى أقمشة واقية من النيران . ولذا فإنه يستخدم فى صناعة ملابس مكافحة النيران وستائر المسارح. كما يستخدم الأسبتوس فى صناعة العوازل الصوتية وعمل الأسقف، على الرغم من تقلص استخدامه حالياً لارتباطه ببعض الأمراض الخبيثة فى الرئة. ويستخدم التلك talc الذى يوجد غالبأ مصاحبا للأ سبستوس فى صناعة بودرة التلك ومنتجات أخرى.

وتستخدم الموارد اللافلزية أيضا فى أغراض متنوعة، حيث تستخدم الميكا mica فى صناعة العوازل الكهربائية، بينما يستخدم الباريت barite ($BaSO4$) نظرأ لوزنه النوعى العالي فى منح تدفق البترول أثناء عمليات الحفر. ويستخدم الصلصال clay فى صناعة السيراميك والمرشحات. ويستخدم الدياتوميت diatomites فى صناعة مرشحات أحواض السباحة وفى عمليات الترشيح عموماً . ورمال الزجاج glass sand التى تحتوى على أكثر من ٩٥ % من وزنها كوارتز هى المكون الر ئيسى للزجاج، ويستخدم الجرافيت graphite فى سبك المعادن وفى المواد المخففة للاحتكاك وصناعة الصلب والبطاريات وأقلام الرصاص.

. رواسب الخامات وتكتونية الألواح:

تشرح نظرية تكتونية الألواح الأنوع المختلفة من النشاط النارى نتيجة التفاعلات عند حدود الألواح، حيث تنفصل الألواح أو تتقارب . وحيث إن العمليات النارية تنقل العناصر الكيميائية والمعادن المتكونة فيها من داخل الأرض إلي سطحها، فإن نظرية تكتونية الألواح تقدم أساساً مهماً لفهم نشأة الرواسب المعدنية. ويساعد هذا الفهم فى شرح أسباب تواجد رواسب الخامات الحالية، كما يساعد فى عمليات الاستكشاف المعدنى.

فقد اكتشف الجيولوجيون عام ١٩٧٩ م وجود ينابيع حارة محملة بمعادن ذائبة تخرج من عدة مخارج على قاع البحر أثناء دراستهم لقاع المحيط عند مركز انتشار، spreading center مرتفع شرق الهادئ East Pacific Rise. ويرجع أصل تلك الينابيع الحارة إلي ماء البحر الذى يدور فى الكسور بالقرب من الخسيف، حيث تنفصل الألواح على امتداد حيود وسط المحيط .

وترتفع درجة حرارة ماء البحر إلي عدة مئات من الدرجات حينما يلامس الصهارة أو الصخور الساخنة الموجودة فى أعماق القشرة . ويقوم ماء البحر الساخن بغسل وإزالة العناصر الشحيحة من الصخور الساخنة ويصعد إلي قاع البحر. وتترسب حبيبات دقيقة من كبريتيد الحديد وغيره من المعادن عندما تصل المياه الساخنة المحملة بالعناصر والمركبات الذائبة الي القشرة العلوية الأكثر برودة ومياه المحيط القريبة . وهذا هو أصل المداخن السوداء black smokers . ويترسب بهذه الطريقة كميات كبيرة من كبريتيدات الخامات الغنية فى الزنك والنحاس والحديد والفلزات الأخرى،على امتداد مراكز انتشار وسط المحيط .

وعندما تم تعرف مراكز الانتشار الشائعة فى البحار كمصدر للرواسب المعدنية، بدأ الجيولوجيون فى البحث فوق اليابسة عن بقايا قيعان البحار القديمة، التى ربما تحتفظ أيضا بموارد مهمة للرواسب المعدنية. وقد توجد بعض الرواسب فى نطاقات تصادم الألواح (الحدود المتقاربة)، حيث قد توجد بعض أجزاء من قشرة محيطية قديمة دفعت فوق اليا بسة، ء على امتداد أسطح دسر thrust surfaces فى مرحلة من مراحل تصادم الألواح والاندساس تعرف بالأوفيوليت ophiolites. وربما يرجع أصل رواسب الكبريتيدات الغنية بالنحاس والرصاص والزنك فى تتابعات الأوفيوليت فى سلطنة عمان وقبرص والفلبين وإيطاليا وفى أماكن أخرى من العالم، إلي عملية دوران المياه الحرماتية على امتداد نطاقات خسف وسط المحيط القديم.

ويوجد عديد من رواسب خامات كبريتيدية أخرى يرجع أصلها إلي المحاليل الحرماتية أو النشاط النارى عند حدود تقارب (تصادم) حديثة أو قديمة. وتشمل تلك الرو اسب تلك الموجودة فى كورديليرا فى أمريكا الشمالية والجنوبية وفى شرق البحر الأبيض المتوسط إلي باكستان، وفى جزر القلبين واليابان. ويعتقد أن الرواسب الموجودة فى الأقواس الصها رية magmatic arcs تنتج من نشاط نارى يقع فى نطاقات التقارب. وتقترح إحدى الفرضيات أن بعض رواسب حدود التقارب تمثل المرحلة الثانية من عملية تكون الخام التى تشمل مرحلتين. المرحلة الأولى

هى نشأة خامات معدنية بواسطة نشاط حرماثى عند مركز انتشار وسط المحيط. وتشمل المرحلة الثانية، وهى منفصلة عن المرحلة الأولى زمانا ومكانا، اندساس رواسب وقشرة محيطية تحتوى على عناصر الخامات التى سبق تركيزها عند نطاق تقارب (تصادم). وعندما يهبط اللوح فى مناطق الوشاح التى تزداد درجة حرارتها حيث تنصهر الفلزات وترتفع فى اللوح الراكب مصاحبة للصهارة. ويوجد الحديد والنحاس والموليبدنم والرصاص والزنك والقصدير والذهب على امتداد حدود الألواح المتقاربة ، والتى نشأت من النشاط الحرماثى ثم يعاد تركيزها بالعمليات النارية نتيجة حركات تكتونية الألواح.

وربما يكون قاع البحر البعيد عن حدود الألواح هو المكان الأفضل للتعدين فى مياه البحار العميقة، بسبب التواجدات المنتشرة لعقيدات المنجنيز manganese nodules ، وهى عقيدات هشة سوداء غير منتظمة الشكل تشبه خبات البطاطس تحتوى على أكاسيد المنجنيز، وكميات أصغر من أكاسيد وهيدروكسيد الحديد والنحاس والنيكل والكوبالت وأكاسيد فلزات أخرى. ويكون حجم العقيدات فى حدود عدة سنتيمترات قليلة. وتتكون تلك العقيدات من ترسيب أكاسيد تلك الفلزات من ماء البحر، حول نويات صغيرة مثل أسنان سمك القرش أو أجزاء من الصخر. ولا ترجح فقط القيمة الاقتصادية لتلك العقيدات إلي النقص التدريجى فى رواسب المنجنيز عالية التركيز على اليابسة، وإنما إلي أن تلك العتيدات غنية أيضا بعدد من الفلزات الأخرى. وتقدر تلك الرواسب ببلايين الأطنان.

يستعرض هذا الملخص الموجز لجيولوجية الرواسب المعدنية التنوع الكبير للمواقع الجيولوجية التى تحتوى على أنواع معادن محتلفة ذات قيمة اقتصادية. وعلى الرغم من أن هناك احتمالاً لانتشار أجسام خامات على قيعان البحار العميقة، إلا أن معظم رواسب الخامات توجد على القارات أو كبقايا لأجزاء متمعدنة من قشرة محيطية فوق القارات عند تقارب (تصادم) الألواح.

الموارد المعدنية فى مصر:

فيما يلى عرض تفصيلى لأهم الثروات المعدنية فى مصر :

١- Iron الحديـد

تتواجد رواسب الحديد فى ثلاث مناطق رئيسية وهى شرق أسوان والواحات البحرية والصحراء الشرقية .

أ ـ رواسب الحديد فى شرق أسوان :

توجد رواسب الحديد فى أكثر من ١٥ موقعا شرق أسوان مصاحبة لتكوينات الحجر الرملى النوبى التى ترجع فى نشأتها إلى العصر الكريتاسى (الطباشيرى) Cretaceous . وخام حديد أسوان من النوع الرسوبى البطروخى Oolitic الذى يتكون أساسا من الهيماتيت Hematite والجوثيت Goethite . وتتراوح الاحتياطيات شبه المؤكدة لتلك الرواسب بحوالى من ١٢٠-١٥٠ مليون طن . وقد استغل الخام منذ منتصف الخمسينات حتى أواخر الستينات ، حيث توقف استخراج الخام بعد اكتشاف رواسب الحديد فى الواحات البحرية نظراً للتكاليف الباهظة لنقل خام أسوان إلى مصنع الحديد والصلب بحلوان .

ب ـ رواسب الحديد فى الواحات البحرية :

تتواجد رواسب الحديد فى الواحات البحرية فى أربعة مناطق رئيسية هى الجديدة والحارة وناصر وجبل غرابى وتتكون هذه الرواسب بصفة أساسية من أكاسيد الحديد المائية المعروفة باسم الليمونيت Limonite والجوثيت بالإضافة إلى الهيماتيت وبعض المعادن الإضافية الأخرى . وتستغل رواسب الحديد فى الوقت الحالى فى تغذية مصنع الحديد والصلب بحلوان حيث تم إقامة خط حديدى يربط بين مواقع الخام المختلفة فى الواحات البحرية وبين المصنع فى حلوان . ويبلغ الإنتاج حوالى مليون طن سنويا وتتراوح نسبة الحديد بالخام من ٤٥% إلى ٥٠% الأمر الذى يجب معه إجراء عمليات تركيز Concentration وذلك لرفع نسبة عنصر الحديد فى الخام ويبلغ الإحتياطى من الخام حوالى ١٠٠ مليون طن .

جـ ـ رواسب الحديد بالصحراء الشرقية :

تتواجد هذه الرواسب فى القطاع الأوسط من الصحراء الشرقية جنوب القصير بالقرب من ساحل البحر الأحمر وهى رواسب كانت رسوبية الأصل ثم أصبحت متحولة بفعل الحرارة العالية والضغط الشديد . ومن أهم المواقع جبل الحديد ووادى كريم والدباح وأم نار وأم غميس وتقدر الإحتياطيات بحوالى٤٠ مليون طن.

ويوجد الخام على هيئة عدسات أو شرائط Bands من الماجنتيت Magnetite والهيماتيت Hematite والسيليكا الموجودة فى صورة معدن الجاسبر Jasper حيث يتراوح السمك من عدة سنتيمترات إلى خمسة أمتار تقريبا . وهناك صعوبات تمنع استغلال هذا الخام فى الوقت الحالى أهمها تداخل السيليكا مع خامات الحديد بحيث لا يمكن الفصل بينهما إلا بعد الطحن الدقيق Fine Grindingمما يجعل التركيز غير إقتصادى من الناحية العملية .

وتتمثل الفائدة الإقتصادية فى خامات الحديد المختلفة فى هدف رئيسى وهو إنتاج الحديد الزهر الذى يمكن بعد ذلك إنتاج أنواع الصلب المختلفة ولاسيما أن الحديد من العناصر الأساسية اللازمة فى كل مجال سواء على المستوى المدنى أو العسكرى .





مصنع براميل حديد

٢- المنجنيز Manganese

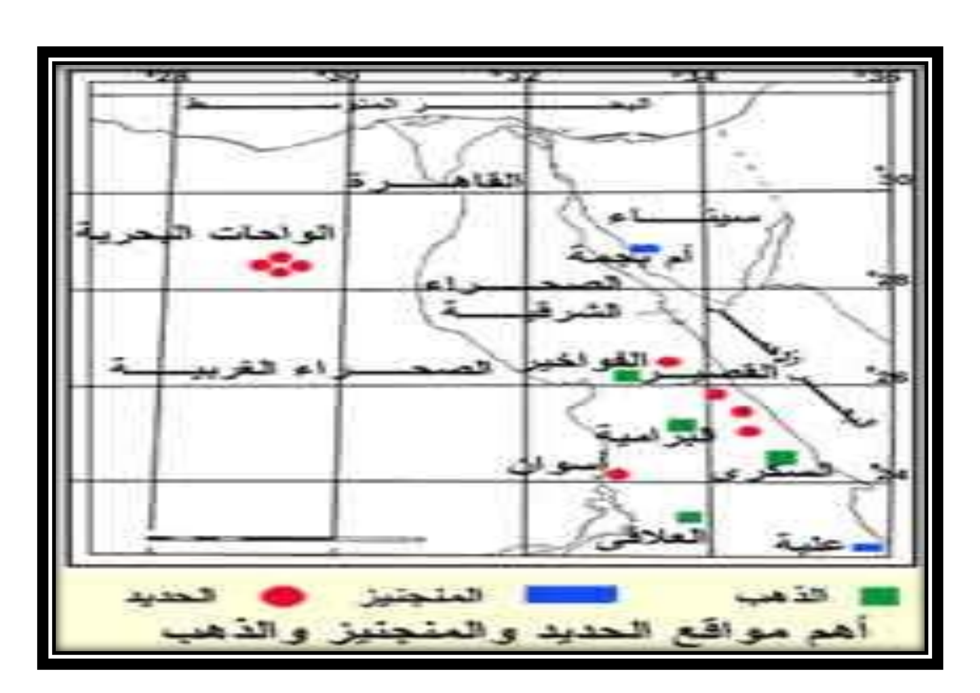
على الرغم من تعدد مواقع تواجد خامات المنجنيز إلا أن القليل منها هو الذى يصلح للاستغلال الإقتصادى . وتعد منطقة أهم بجمة فى سيناء هى أهم تلك المناطق حيث توجد خامات المنجنيز فى شكل عدسات متوسط سمكها متران تقريبا ضمن صخور الحجر الجيرى الدولوميتى Dolomitic Limestone الذى ينتمى إلى تكوينات العصر الكربونى الأوسط Middle Corboniferous .

ويتكون الخام أساسا من معادن البيرولوزيت Pyrolusite والمنجانيت Manganite والبسيلوميلان Psilomelane كما توجد رواسب خامات المنجنيز فى منطقة أبو زنيمة فى شبه جزيرة سيناء أيضا غير أن الإحتياطى فى هذه المنطقة قليل نسبيا ويقدر مبدئيا بحوالى ٤٠٠٠٠ طن . أما فى منطقة حلايب جنوب شرق الصحراء الشرقية بالقرب من ساحل البحر الأحمر فتوجد رواسب المنجنيز على هيئة عدسات وجيوب مائلة للشقوق ويقدر الإحتياطى بحوالى ١٢٠ ألف طن . ويستخدم المنجنيز أساسا فى صناعة الصلب والبطاريات الجافة وفى صناعة الطلاء وأيضا فى الصناعات الكيميائية .

٣- الذهب Gold

ربما كان المصريون القدماء أبرع من نقبوا عن الذهب بدليل وجود أكثر من ٩٠ منجما قديما للذهب فى الصحراء الشرقية ولازالت الآثار والمشغولات الذهبية شاهدا حيا على براعة المصريين القدماء فى البحث والتنقيب عن الذهب . ومن أهم مناجم الذهب : عنود والسكرى والبرامية وأم الروس وعطا الله ... ألخ .

ويوجد الذهب على هيئة حبيبات دقيقة منتشرة غالبا فى عروق الكوارتز القاطعة للصخور الجرانيتية المنتشرة بطول وعرض الصحراء الشرقية . ولعل أهم استخدام الذهب هو قوته الشرائية التى أهلته لأن يكون هو الغطاء النقدى للعملات المتداولة . بالإضافة إلى استخدامه فى صناعة الأسنان وبعض العقاقير الطبية .



٤- التيتانيوم Titanium

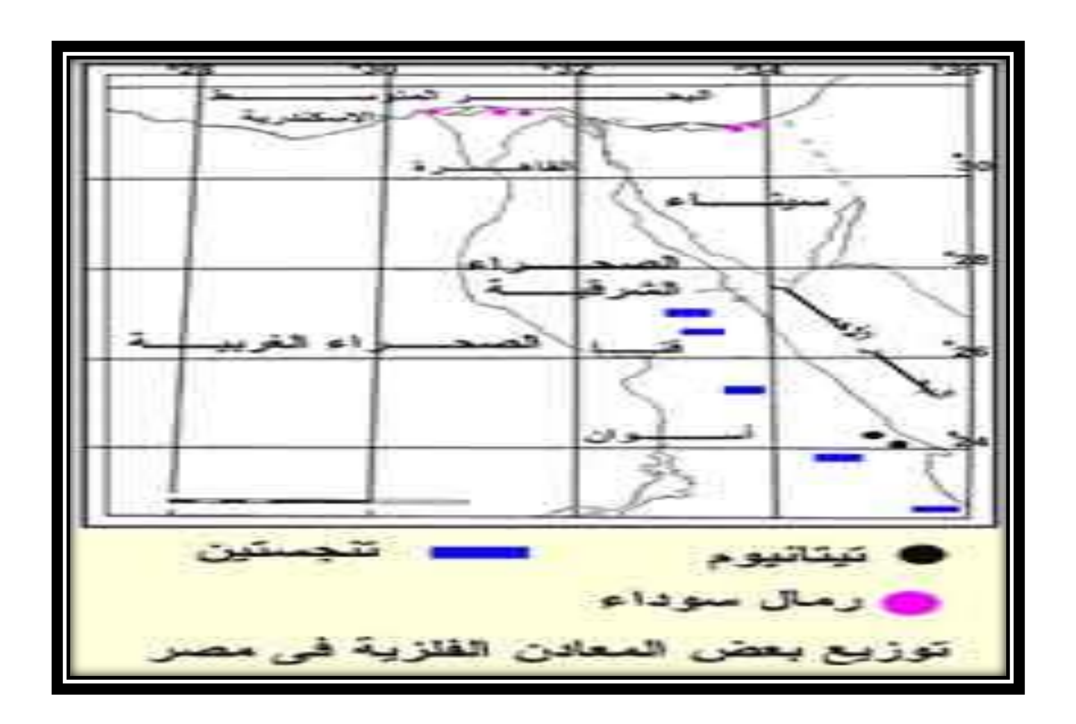
يتمثل الخام الرئيسى لعنصر التيتانيوم فى معدن الإلمنيت llmenite الذى يتكون من أكسيد حديد وتيتانيوم Fe TiO٣ . ويوجد الإلمنيت فى عدة مواقع بمصر أهمها منطقة أبو غلقة وأبو ضهر بالصحراء الشرقية .

كما يوجد الإلمنيت أيضا كأحد مكونات الرمال السوداء التى تركزت بفعل الرياح والأمواج فى شمال الدلتا بين رشيد والعريش ويستخدم التيتانيوم فى صناعة سبائك الصب والطلاء .

٥- القصدير والتنجستن Tungesten& Tin

بتواجد كل من خام القصدير المعرف بأسم الكاستيريت Cassiterite SnO٢ وخام التنجستن المعروف باسم الولفراميت Wolframite (Fe,Mn) WO٤ فى كل من مناطق نويبع والعجلة وأبو دباب والمويلحة وزرقة النعام وجميعها بالصحراء الشرقية ويستخدم الكاسبتريت كمصدر أساسى كعنصر القصدير الذى يستخدم فى صناعة الصفيح وسبائك البرونز .

بينما يستخدم الولفراميت فى إنتاج عنصر التنجستن الذى يستخدم فى صناعة الصلب المستعمل فى عمل الآلات ذات السرعة العالية وفى صناعة المصابيح الكهربية . ويستخدم كربيد التنجستن بالنظر إلى صلادته العالية فى صناعة الآلات الثاقبة .



توزيع بعض المعادن الفلزية فى مصر

٦- النحاس Copper

على الرغم من انتشار خامات النحاس بمصر إلا أنها لم تصل بعد إلى الاستغلال الإقتصادى . ويتركز تواجد خامات النحاس ولاسيما معدن الملاكيت Malachite CU2 CO3 (OH)٢ فى شبه جزيرة سيناء فى منطقة سرابيط الخادم وفيران وسمره .

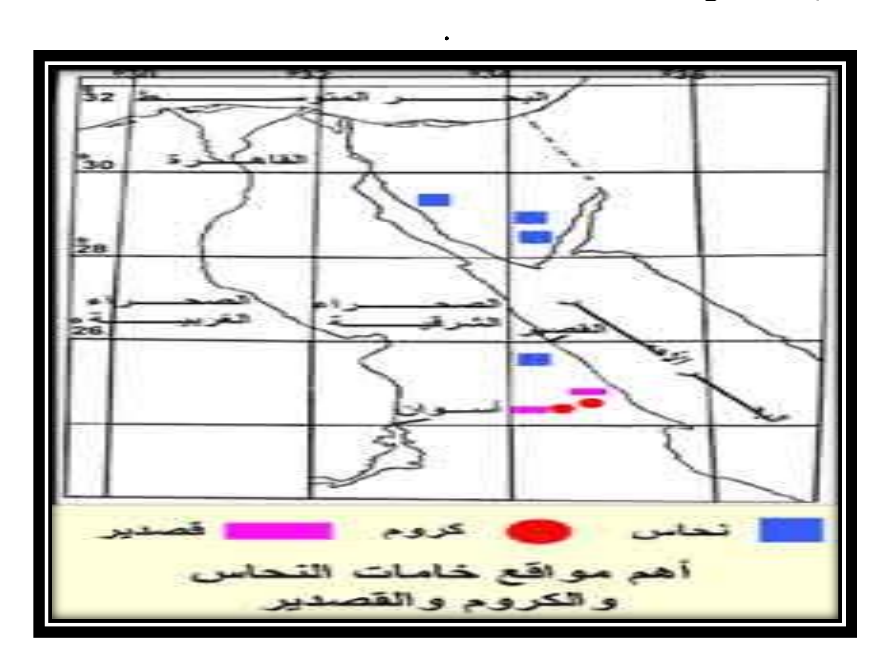
كما توجد رواسب النحاس ملازمة لخامات النيكل فى مناطق أبو سويل ووادى حيمور وعكارم وجميعها بالصحراء الشرقية . ومن الجدير بالذكر أن قدماء المصريين قد استغلوا خامات النحاس فى التلوين بصفة أساسية .

٧- الكروم Chromium

أكتشف خام الكروم والمعروف باسم الكروميت Chromite Fecr2O٤ (أكسيد حديد وكروم) فى منتصف الأربعينات بمصر ، ويوجد الخام على هيئة شرائط Bands أو طبقات أو عدسات فى أكثر من منطقة بالصحراء الشرقية .

ومن أهم هذه المناطق : البرامية وجبل دنقاش وأبو ظهر وأبو مروة . ويستخدم الكروميت كمصدر رئيسي لعنصر الكروم الذى يستخدم بدوره فى صناعة الصلب المقاوم للتآكل والصدأ كما يستعمل الكروميت فى صناعة الصباغة ودباغة الجلود.

.



٨- الفوسفات Phosphate

يعتبر الفوسفات فى مصر أهم الرواسب المعدنية من الناحيتين ، التعدينية والاقتصادية ، لأن إنتاجه كان وما يزال يشغل مكاناً بارزا فى المجال التعدينى . ويرجع السبب فى ذلك إلى الانتشار الواسع لتواجد الفوسفات فى مصر إذ أنه يوجد على هيئة حزام من رواسب الفوسفات يمتد إلى مسافة حوالى ٧٥٠ كم طولا من ساحل البحر الأحمر شرقا إلى الواحات الداخلة غربا . أما أهميته الاقتصادية فتتلخص فى أنه يصدر إلى الخارج بكميات كبيرة كما يتم تصنيع جزء منه إلى أسمدة كيميائية من النوع السوبر فوسفات .

وتتواجد مواقع الفوسفات التى لهما أهمية اقتصادية بمصر فى ثلاث مناطق رئيسية هى :

ا- وادى النيل بين ادفو وقنا:
ومن أهم مناطق التواجد منطقتى المحاميد والسباعية وتقدر احتياطيات خام الفوسفات فى منطقة المحاميد وحدها بحوالى ٢٠٠ مليون طن كما تصل نسبة خامس أكسيد الفوسفور إلى حوالى ٢٢

% . وقد أسفرت الدراسات الجيولوجية عن احتياطى يقدر بحوالى ١٠٠٠ ملين طن بالمناطق المجاورة لمنطقة المحاميد .

ب - ساحل البحر الأحمر بين سفاجه والقصير :
يتواجد خام الفوسفات بين مينائى سفاجه و القصير بمناطق أهمها جبل ضوى ومنطقة العطشان والحمراوين وتقدر الاحتياطيات من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ مليون طن من خام الفوسفات .

جـ - الصحراء الغربية :
تمثل هضبة أبو طرطور الواقعة بين الواحات الداخلة أضخم راسب من الفوسفات فى مصر حيث يقدر الاحتياطى من الخام بنحو ١٠٠٠مليون طن ، غير أنه توجد بعض العقبات التى تحول دون استغلاله الاستغلال . الأمثل وذلك لوجود نسبة ملحوظة من الشوائب مما يزيد من تكلفة إنتاجه .



محاجر فوسفات

٩- التلك Talc

تتواجد رواسب التلك فى أكثر من ٣٠ موقعا معظمها بجنوب الصحراء الشرقية ، ومن أهم هذه المناطق درهيب والعطشان وأم السلاتيت . ويستخدم التلك فى صناعة الورق والصابون وبعض العقاقير الطبية والمنظفات الصناعية .

١٠- الباريت Barite

يتواجد الباريت فى مصر بأكثر من ١٠ مواقع منتشرة بالصحراء الشرقية والغربية وبعض هذه المواقع قابلة للاستغلال الإقتصادى من أهم هذه المواقع جبل الهودى شرق أسوان وحماطه ووادى دبب ووادى شعيث وجبل علبه بالقرب من الحدود السودانية .

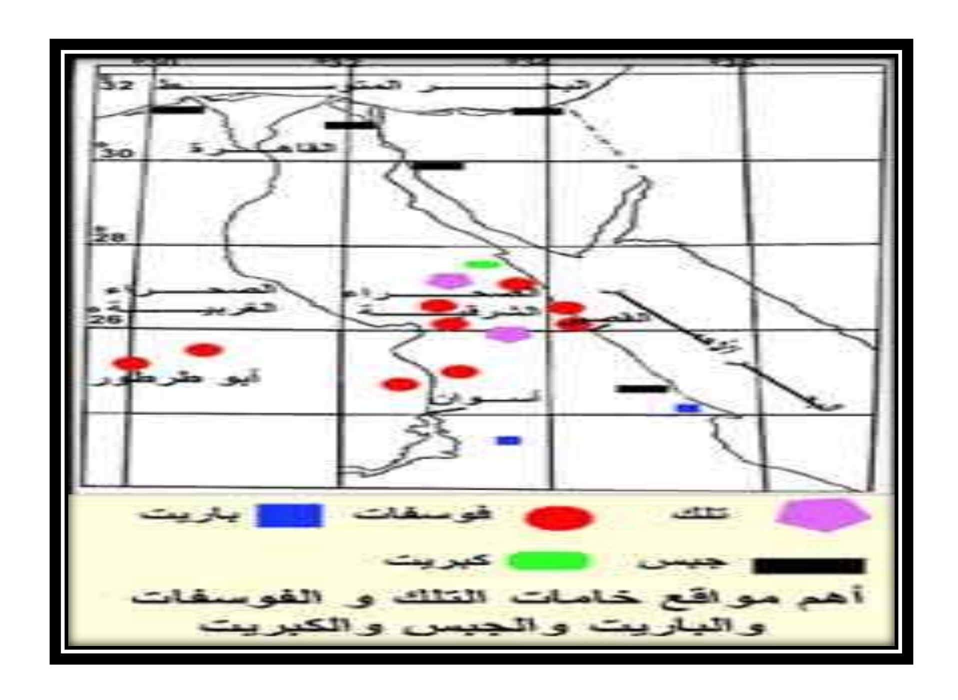
ويستخدم الباريت بصفة أساسية فى سوائل حفر آبار البترول وفى تحضير مركبات الباريوم وفى صناعة الطلاء والمنسوجات والورق وبعض العقاقير الطبية .

١١- الكبريت Sulphar

يتواجد الكبريت بمصر بصفة أساسية على ساحل البحر الأحمر وخليج السويس وخاصة فى مناطق جمسة ورانجا وجبل الزيت . ويستخدم الكبريت فى صناعة حمض الكبرتيتك الذى يستخدم بدورة فى قائمة طويلة من الصناعات الكيميائية كما يستخدم أيضا فى صناعة المفرقعات والأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية وفى الأغراض الطبية وتبييض المنسوجات.

١٢- الجبس Gypsum

يتواجد الجبس فى مصر بأكثر من ٢٥ موقعا أهمها منطقة البلاح شمال محافظة الإسماعيلية وراس ملعب شرق خليج السويس فى سيناء وفى العلمين والعميد غرب الإسكندرية . ويستخدم الجبس فى صناعة حمض الكبريتيك ومواد البناء والمصيص بصفة أساسية .



أهم مواقع خامات التلك و الفوسفات والباريت والجبس والكبريت

١٣ - الكوارتز *Quartz*

يتواجد الكوارتز فى عدة مواقع بالصحراء الشرقية أهمها جبل الدب وجبل مروات ومنطقة أم هيجليج . وتصل نسبة السيليكا إلى حوالى ٩٨% . ويستخدم الكوارتز بصفة أساسية فى البصريات أما الكوارتز الفائق النقاوة فيستخدم فى صناعة الخلايا الشمسية عن طريق اختزال الكوارتز (ثانى أكسيد السيليكون) إلى سيليكون نقى الذى يستخدم أيضا فى صناعة أشباه الموصلات .

١٤- الكاولين Kaolin

تتواجد رواسب الكاولين فى ثلاث مواقع رئيسية :

أ ـ فى وادى نتش ومسبع سلامة وفرش الغزلان وجميعها فى شبه جزيرة سيناء .

ب ـ على الساحل الغربى لخليج السويس فى أبو الدرج والجلالة البحرية .

جـ ـ فى منطقة قلابشة وأسوان .

ويعد الكاولين من الخامات ذات الاحتياطيات الكبيرة التى تصل إلى ما يزيد عن ٢٠٠ مليون طن. ويستخدم الكاولين فى صناعة السيراميك والخزف والمطاط والورق .

١٥- أملاح الصوديوم والبوتاسيوم Potassium Salts & Sodium

تتواجد رواسب كربونات الصوديوم (النطرون) بوادىالنطرون بمحافظة البحيرة . أما رواسب كلوريد الصوديوم (الملح الصخرى) فتستخلص من مياه البحر عن طريق التبخير بالملاحات الصناعية المنتشرة على البحر الأبيض المتوسط فى مرسى مطروح وإدكو والإسكندرية ورشيد وبورسعيد وبحيرة قارون بالفيوم وتعد هذه الرواسب المصدر الرئيسى لكل من الصوديوم والكلور اللذين يدخلان فى قائمة طويلة من الصناعات الكيميائية أهمها الصودا الكاوية وحمض الهيدروكلوريك .

١٦- رمل الزجاج Glass d San

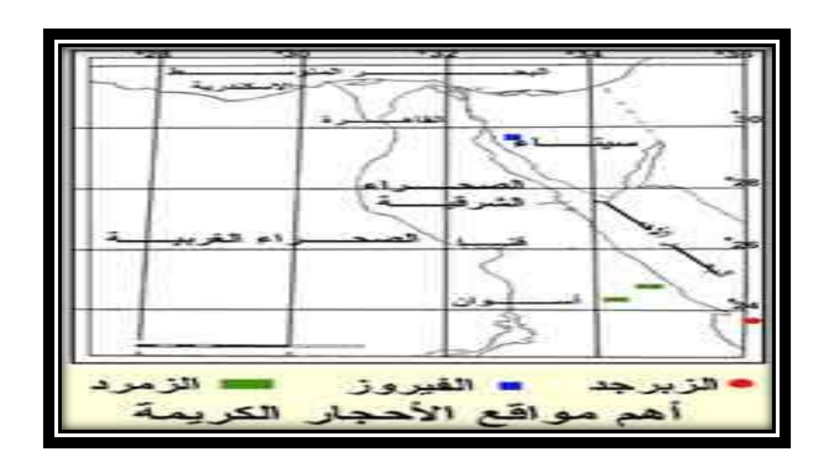
تتواجد بوفرة الرمال البيضاء عالية الجودة بالقرب من منطقة أبو زنيمة بسيناء وفى منطقة الزعفرانة على خليج السويس ووادى النطرون وأبو الدرج ووادى قنا . ويستخدم هذا النوع من الرمال فى صناعة الزجاج .

١٧- **الأحجار الكريمة Gemstones**

من أهم أنواع الأحجار الكريمة التى تتواجد بمصر الفيروز Turquoise الذى يوجد بمنطقة جبل المغارة وسرابيط الخادم فى سيناء أما الزمرد لـ Emerald فيوجد فى زبارا وسكيت وأم كابو ونجرس بالصحراء الشرقية .

أما الزبرجد Predote فيوجد فى جزيرة الزبرجد جنوب البحر الأحمر .

تلك هى أهم أنواع الأحجار الكريمة التى اشتهرت بها مصر منذ الحضارة الفرعونية وحتى الآن.



١٨-**الفلسبار:**
يتواجد الفلسبار فى عدة مواقع أهمها منطقة أسوان ووادى أم ديسى والعنيجى . ويستخدم الفلسبار أساسا فى صناعة السيراميك والخزف والصينى والحراريات والزجاج .

١٩-**أحجار الزينة Ornamental Stones**
تعد أحجار الزينة من الموارد المعدنية الواعدة والتى سوف يكون لها شأن كبير وذلك لسببين الأول : وفرتها وسعة إنتشارها فى الأراضى المصرية بحيث تشمل معظم سلاسل جبال البحر الأحمر والجزء الجنوبى من شبه جزيرة سيناء وأجزاء متفرقة من الصحراء الغربية . والثانى التنوع الكبير فى أنواع الصخور المختلفة سواء أكانت من الصخور النارية أم المتحولة أو الرسوبية.

وفيما يلى أهم أنواع صخور الزينة فى مصر :

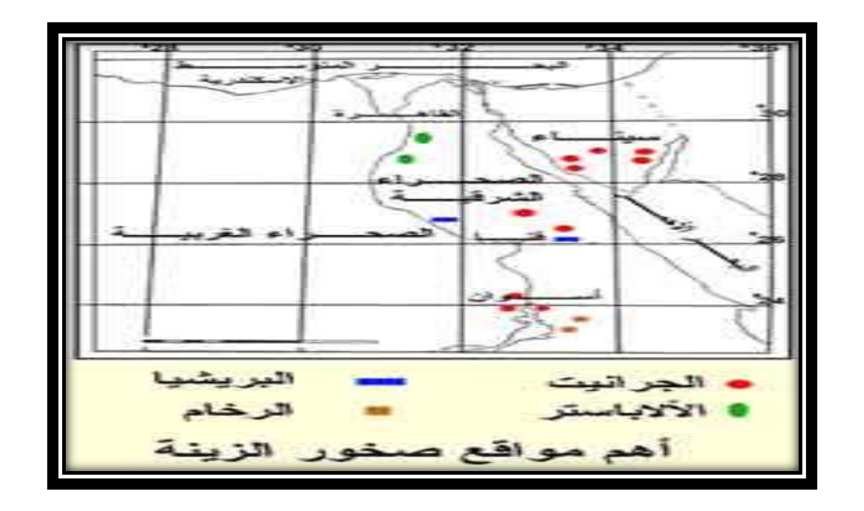
١- الجرانيت :
وهو صخر نارى جوفى وتوجد أهم محاجره فى أسوان وعدة أماكن بالصحراء الشرقية وسيناء . غير أن جرانيت أسوان يتميز بألوانه الجميلة وشهرته التاريخية فقد صنع قدماء المصريين منه التماثيل والتوابيت والمسلات وموائد القرابين .

٢- الرخام :
وتواجد أهم محاجره فى وادى المياه وجبل الرخام ووادى الدغبج والعلاقى وأبو سويل .

٣- الحجر الجيرى :
وتتميز مصر بوفرة هائلة فى صخور الحجر الجيرى المتعدد الألوان ومن أهم محاجره طره والمعصرة وبنى خالد وسمالوط بالمنيا وعلى إمتداد طريق أسيوط - الواحات الداخلة والخارجة كما توجد أيضا بعض المحاجر فى سيوه والعلمين .

٤ - البريشيا :
وهو صخر رسوبى يتكون من قطع مختلفة الحجم والشكل وتتميز بألوانها الزاهية لاسيما البريشيا الحمراء التى تتواجد فى العيساوية والأنبا بساده فى محافظة سوهاج كما يوجد أيضا نوع من البريشيا الخضراء التى تعرف أثريا ببريشيا فيرد أنتيكو Breccia Verd Antico .

٥-الألاباستر :
وهو نوع من الصخور الجيرية يتميز بلونه العسلى وهو ذو شهرة عالمية ومن أهم محاجرة وادى سنور بالقرب من بنى سويف وجبل الراحة بسيناء .



أهم المعادن والخامات فى مصر

م	الخـام	الموقـع	الإستخدامـــات
١	الفوسفات	وادي النيل- أبو طرطور	صناعة الأسمدة والكيمياويات وخلافة
٢	الذهب	جبل السكرى- البرامية- حمش- أبومروات	صناعة الحلى والمجوهرات
٣	الفلسبارات	رأس العش وأبو شمام- وادي زغرة- دهب- وادي الكيد- وادي العاط - طابا-	صناعة الحراريات والسيراميك
٤	الرخام والجرانيت وأشباه الرخام	البحر الأحمر- شمال سيناء - جنوب سيناء- سوهاج - المنيا	صناعة الألواح المصقولة من الرخام والجرانيت واشباة الرخام
٥	التلك	الدرهيب- وادى العطشان- وادى جرف	صناعة بودرة التلك والخزف والسيراميك
٦	الكوارتز	أم هجليج- شرق أسوان- ادفو	صناعة سبائك الفيروسيليكون والزجاج

٧	رمال الزجاج	أبو الدرج - وادى قنا- شمال سيناء - جنوب سيناء	الزجاج والحراريات البويات والورق والمطاط والكريستال
٨	الحجر الجيري	بنى خالد - سما لوط (المنيا) - سيناء السويس- الوادي الجديد - الإسكندرية	صناعة الأسمنت ومواد البناء وكربونات الصوديوم ومادة مالئة في صناعات الورق والبلاستيك
٩	الكاولين	كلابشة أسوان- جنوب سيناء	صناعة الورق والبلاستيك والمطاط
١٠	الباريت	الجديدة وغرابى بالواحات البحرية وجبل الهوادى شرق أسوان	صناعة سوائل الحفر والخزف والحراريات
١١	البوتاسيوم	خليج السويس- الواحات البحرية	صناعة المخصبات الزراعية وكمؤكسدات
١٢	الجبس (٩٣%) CaCo3	غرب الإسكندرية- البحر الأحمر- السويس- شمال سيناء- جنوب سيناء	تشطيب المبانى وصناعة المنتجات الجبسية وفى بعض الأغراض الطبية
١٣	الحديد	شرق أسوان والواحات البحرية الحديد الشرائطى الحامل للذهب (العوينات) حديد الصحراء الشرقية	الحديد والصلب الحديد والصلب وإستخراج الذهب مكورات الحديد
١٤	النحاس	أم سميوكى جنوب غرب مرسى علم- أم سويل شرق أسوان	صناعة الإسلاك الكهربائية وصناعة السبائك المختلفة
١٥	الزنك	أم غيج بالقرب من القصير	صناعة السبائك وتكسية الحديد والفولاذ
١٦	بازلت	المنيا - السويس- شمال سيناء	رصف الطرق والسكك الحديد
١٧	الصودا آش	وادى النطرون- جبل سن الكداب- جبل يلج	صناعة الزجاج والنسيج ومعالجة المياه
١٨	الدلوميت	البحر الأحمر- السويس- شمال سيناء	الصناعات المعدنية
١٩	الفحم	المغارة وعيون موسى وبدعة وثورة بسيناء	صناعة الصلب وتوليد الكهرباء
٢٠	الملح (كلوريد الصوديوم)	شمال سيناء- الفيوم- مرسى مطروح	إنتاج الكيماويات والأصباغ والجلود
٢١	الماجنيزيت	وادي بيزح جنوب شرق مرسى علم- جبل المدرجج- أم السلاتيت	صناعة الحراريات والورق
٢٢	المنيت	أبو غلقة بالقرب من مرسى علم البحر الأحمر	صناعة البويات والورق والمطاط وهياكل الطائرات وغيرها من الصناعات الأخرى
٢٣	الفيرميكوليت	حفافيت- وادي الحمى- ادي النقع	صناعة الأسمدة الزراعية والعوازل
٢٤	المنجنيز	أم بجمة وشرم الشيخ بجنوب سيناء- علبة وعش الملاحة	صناعة الصلب والسبائك المعدنية

B-المصادر الطاقة:

الطاقة هي إحدى صور الوجود، فالكون مكون من أجرام وطاقة. منذ النظرية النسبية لاينشتاين نعرف تكافؤ المادة والطاقة، فالطاقة يمكن ان تتحول إلى مادة وبالعكس يمكن للمادة أن تتحول إلى طاقة. وقد رأينا تحول المادة إلى طاقة في اختراع القنبلة الذرية.

يمكن للطاقة أن تأخذ أشكالًا متنوعة منها طاقة حرارية، كيميائية، كهربائية، إشعاعية ، نووية، طاقة كهرومغناطيسية، وطاقة حركية. هذه الأنواع من الطاقة يمكن تصنيفها بكونها طاقة حركية أو طاقة كامنة، في حين أن بعضها يمكن أن يكون مزيجًا من الطاقتين الكامنة والحركية معًا، وهذا يدرس في الديناميكا الحرارية.

جميع أنواع الطاقة يمكن تحويلها من شكل لآخر بمساعدة أدوات بسيطة أو أحياناً تستلزم تقنيات معقدة مثلاً من الطاقة الكيميائية إلى الكهربائية عن طريق الأداة الشائعة البطاريات أو المركمات، أو تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية وهذا نجده في محرك احتراق داخلي، أو تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وهكذا.

أنواع الطاقة:

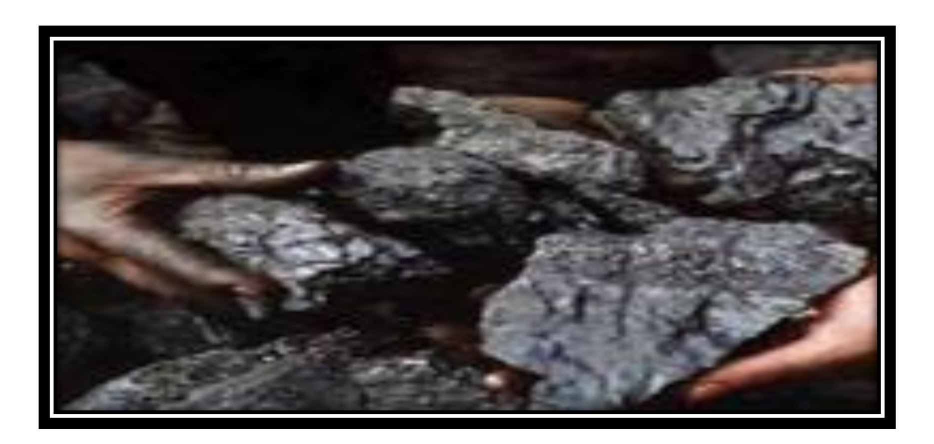
تعتبر الطاقة الحيوانية أول طاقة شغل استخدمها الإنسان في فجر الحضارة عندما استخدم الحيوانات الأليفة في أعماله ثم شرع واستغل قوة الرياح في تسيير قواربه لآفاق بعيدة واستغل هذه الطاقة مع نمو حضارته واستخدمها كطاقة ميكانيكية في إدارة طواحين الهواء وفي إدارة عجلات ماكينات الطحن ومناشير الخشب ومضخات رفع الماء من الآبار وغيرها وهذا ما عرف بالطاقة الميكانيكية.



طاقة حرارية:

نجد الطاقة الحرارية في المحركات البخارية التي تحول الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة ميكانيكية. فالآلة البخارية يطلق عليها آلة احتراق خارجي، لأن الوقود يحرق خارج المحرك في غلاية لتوليد البخار الذي بدوره يدير المحرك. لكن في القرن التاسع عشراخترع محرك الاحتراق الداخلي، مستخدما وقودا يحترق داخل الآلة (مثلما في السيارة، حيث يحترق البنزين داخل المحرك)، فتصبح مصدرا للطاقة الميكانيكية التي أستغلت في عدة أغراض كتسيير السفن والعربات والقطارات. ومن نماذج الوقود الحيوي الرخيص وقود روث الحيوانات الصلب.

الطاقة غير المتجددة نحصل عليها من باطن الأرض كسائب كما في النفط وكغاز كما في الغاز الطبيعي أو كمادة صلبة كما في الفحم الحجري وهي غير متجددة لأنه لايمكن صنعها ثانية أو استعواضها مجددا في زمن قصير وتلك المصادر هي أصلا تكونت من الطاقة الشمسية واختزنت في النفط والفحم والغاز وترجع جميع مصادر الطاقة المتجددة أيضا إلى الطاقة الشمسية (ماعدا الطاقة النووية) مصادر الطاقة المتجددة نجدها في طاقة الكتلة الحيوية التي تُستمد من مادة عضوية كإحراق النباتات وعظام الحيوانات وروث البهائم والمخلفات الزراعية فعندما نستخدم الخشب أو أغصان الأشجار أو روث البهائم في اشتعال الدفايات أو الأفران فهذا معناه أننا نستعمل وقود الكتلة الحيوية وفي الولايات المتحدة تستغل طاقة الكتلة الحيوية في توليد نحو ٣% من مجمل الطاقة لديها لتوليد ١٠ آلاف ميجا وات من القدرة الكهربائية وتستغل طاقة الحرارة الأرضية لتوليد الكهرباء والتسخين وهي تحتاج إلى حفر أبار عميقة بين ٤٠٠ متر إلى ٢٠٠٠ متر لاستخراج الماء الساخن منها واستغلاله في التدفئة أو لتوليد الكهرباء.



الطاقة شمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية الطاقة الأم فوق كوكبنا، حيث تنبعث من أشعتها كل الطاقات المذكورة سابقاً لأنها تسير كل ماكينات وآلية الأرض بتسخين الجو المحيط واليابسة وتولد الرياح وتصريفها، وتدفع دورة تدوير المياه، وتدفيء المحيطات، وتنمي النباتات وتطعم الحيوانات. ومع

الزمن تكون الوقود الإحفوري في باطن الأرض. وهذه الطاقة يمكن تحويلها مباشرة أو بطرق غير مباشرة لحرارة وبرودة وكهرباء وقوة محركة. أشعة الشمس أشعة كهرومغناطيسية، وطيفها المرئي يشكل ٤٩% منها، والغير مرئي كالأشعة الفوق بنفسجية يشكل ٢%، والأشعة دون حمراء ٤٩%.



الطاقة الشمسية تختلف حسب حركتها و بعدها من الأرض، فتختلف كثافة أشعة الشمس وشدتها فوق خريطة الأرض حسب فصول السنة فوق نصفي الكرة الأرضية و بعدها عن الأرض و ميولها و وضعها فوق المواقع الجغرافية طوال النهار أو خلال السنة، وحسب كثافة السحب التي تحجبها، لأنها تقلل أو تتحكم في كمية الأشعة التي تصل لليابسة، عكس السماء الصحوة الخالية من السحب أو الأدخنة. وأشعة الشمس تسقط علي الجدران والنوافذ واليابسة والبنايات والمياه، وتمتص الأشعة وتخزنها في كتلة (مادة) حرارية .Thermal mass هذه الحرارة المخزونة تشع بعد ذلك داخل المباني. تعتبر هذه الكتلة الحرارية نظام تسخين شمسي يقوم بنفس وظيفة البطاريات في نظام كهربائي شمسي (الفولتية الضوئية). فكلاهما يختزن حرارة الشمس لتستعمل فيما بعد.

والمهم معرفة أن الأسطح الغامقة تمتص الحرارة ولا تعكسها كثيراً، لهذا تسخن. عكس الأسطح الفاتحة التي تعكس حرارة الشمس، لهذا لا تسخن. والحرارة تنتقل بثلاث طرق ،إما بالتوصيل conductionمن خلال مواد صلبة، أو بالحمل convection من خلال الغازات أو السوائل، أو بالإشعاع .radiation من هنا نجد الحاجة لإنتقال الحرارة بصفة عامة لنوعية المادة الحرارية التي ستختزنه،، لتوفير الطاقة و تكاليفها. لهذا توجد عدة مباديء يتبعها المصممون لمشروعات الطاقة الشمسية، من بينها قدرة المواد الحرارية المختارة على تجميع وتخزين الطاقة الشمسية حتى في تصميم المباني واختيار مواد بنائها حسب مناطقها المناخية سواء في المناطق الحارة أو المعتادة أو الباردة. كما يكونون علي بينة بمساقط الشمس علي المبني والبيئة من حوله كقربه من المياه واتجاه الريح والخضرة ونوع التربة، والكتلة الحرارية التي تشمل الأسقف والجدران وخزانات الماء. كل هذه الإعتبارات لها أهميتها في إمتصاص الحرارة أثناء النهار وتسربها أثناء الليل.



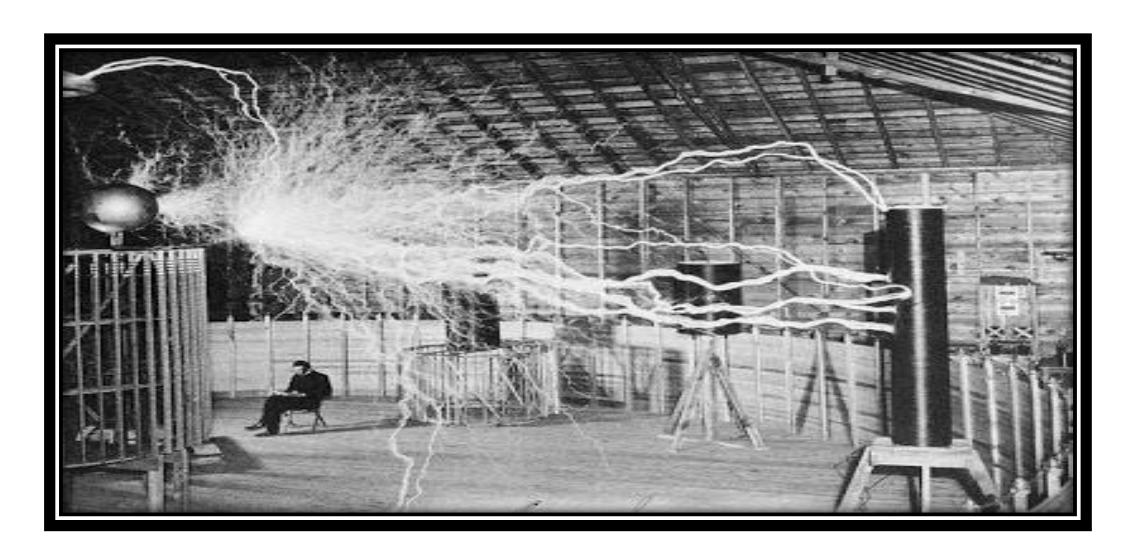
طاقة كهربائية:

في القرن ١٩ ظهر مصدر آخر للطاقة وهو الطاقة الكهربائية والتي تعرف بالكهرباء ويمكن الحصول على الكهرباء من الطبيعة عن طريق الصواعق والاحتكاك وهذا صعب وغير مجدٍ اقتصادياً ولكن يمكن توليد الكهرباء بعدة طرق أخرى منها الكيميائية مثل البطاريات أو عن طريق تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية وذلك بتحريك سلك موصل في مجال مغناطيسي كما في المولدات الكهربائية أو بتسخين مزدوج حراري كما في المزدوجة الحرارية في البطاريات تكون الكهرباء المتولدة ذات تيار مستمر في المولدات الكهربائية تكون الكهرباء المولدة في الغالب ذات تيار متردد ويمكن أن تكون الكهرباء ذات تيار مستمر.



طاقة نووية:

ثم ظهرت الطاقة النووية التي استخدمت في المفاعلات النووية حيث يجري الانشطار النووي الذي يولد حرارة هائلة تولد البخار الذي يدير المولدات الكهربائية أو محركات السفن والغواصات لكن مشكلة هذه المفاعلات النووية تكمن في نفاياتها المشعة واحتمال حدوث تسرب إشعاعي أو انفجار المفاعل كما حدث في مفاعل تشيرنوبل الشهير.



طاقة كهرمائية:



السد العالي - أسوان.

وطاقة كهرمائية التي تتولد من السدود حاليا نصف الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية تأتي من الطاقة الكهرمائية وهي قوة دفع المياه التي تدير التوربينات والتي بدورها تسيّر مولد الكهرباء كما يحدث في مصر في السد العالي وفي أمريكا تمثل كهرباء الطاقة المائية

١٢% من جملة الكهرباء المنتجة ويمكن مضاعفتها إلي ٧٢ ألف ميجاوات حيث تتوفر مياه الأنهار والبحيرات

طاقة الرياح:

هناك أيضا طاقة قوة الرياح حيث تُستخدم مراوح كبيرة تدور بالهواء والرياح وبواسطة مولد كهربائي تقوم بإنتاج التيار الكهربائي كانت قوة الرياح تستغل في إدارة طواحين الهواء ومضخات رفع المياه كما إتبع في هولندا عندما نزح الهولنديون مساحات مائية من البحر لتوسيع الرقعة الزراعية عندهم سبب عدم انتشارها في العالم أصواتها المزعجة وقتلها للطيور التي ترتطم بشفراتهاالسريعة وعدم توفر الرياح في معظم المناطق بشكل مناسب.



طاقة المد والجزر:

تستغل طاقة المد والجزر التي تبلغ في بعض المناطق قدرا مناسبا في إنتاج الطاقة الكهربائية تستغل طاقة المد والجزر في فرنسا والولايات المتحدة الإمريكية.

طاقة كيميائية:

في البطاريات تستغل الطاقة الكيميائية في توليد التيار الكهربائي وفي المراكم المستخدم في هاتف محمول وهي تنتج التيار الكهربائي من التفاعل الكيميائي أيضا في خلايا الطاقة التي تستغل الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الكهرباء من خلال تفاعل كهربائي كيميائي

ويرافق جميع العمليات الكيميائية تغير في المواد أي تختفي مواد وتنتج مواد أخرى وجميع العمليات الكيميائية مصحوبة بتغير في الطاقة نطلق اسم طاقة كيماوية على الحرارة المنطلقه إلى الوسط المحيط لتفاعل كيمائي أو الطاقة التي تمتصها العملية من الوسط المحيط.

طاقة إشعاع:

تنتقل الطاقة الشمسية إلى الأرض كطاقة إشعاعية في صورة الضوء، وهو موجات كهرومغناطيسية. كذلك تصدر النجوم طاقتها بصفة أساسية في صورة إشعاع.

. استخدام الطاقة:

الطاقة عنصر أساسى فى حياة البشر، وقد تؤدى أزمة فى إمدادات الطاقة إلي توقف الحياة فى المجتمعات الحديثة . كما قد تسبب الحروب توقف إمدادات البترول، كما حدث تراجع اقتصادى ملحوظ وتضخم فى الأسعار بسبب التغير الدائم فى أسعار البترول.

وقد أدت زيادة التصنيع فى العالم إلي زيادة الطلب على الطاقة وتغير أنواع الطاقة المستخدمة. فقد اعتمدت الثورة الصناعية فى القرنين الثامن عشر والتاسع عشر على الطاقة المستمدة من الفحم، وبالتالي زادت الحاجة إلي الفحم، وزاد البحث عنه .

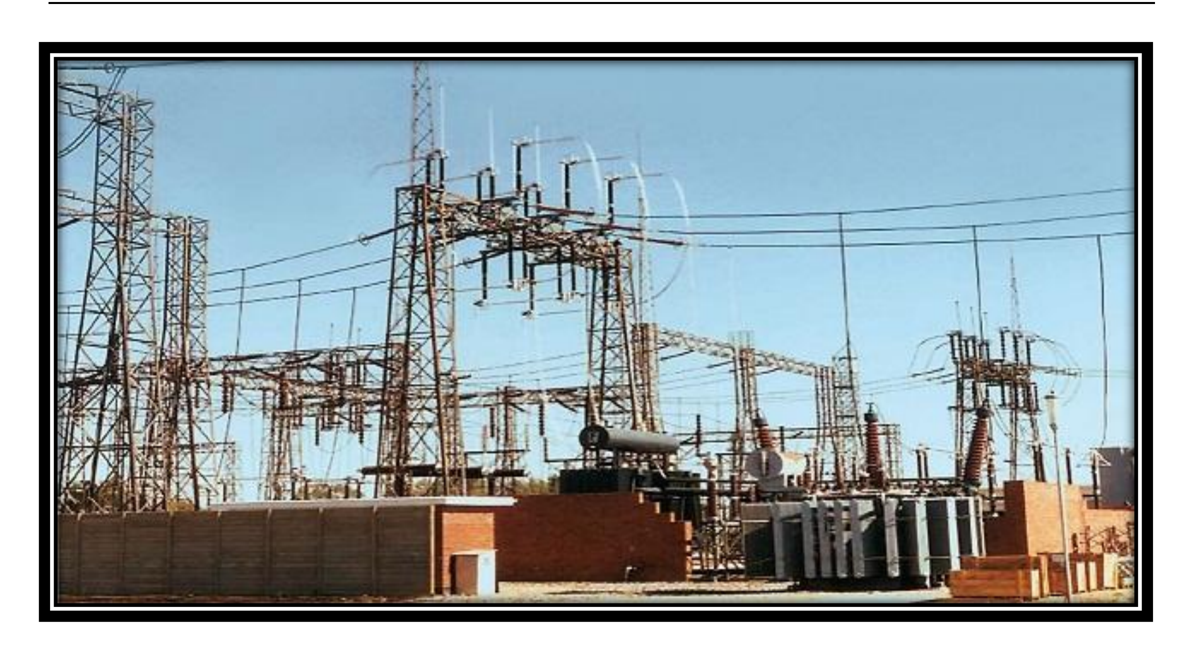
وبعد حوالى نصف قرن من حفر أول بئر للبحث عن البترول فى أمريكا عام ١٨٥٩ م بدأ الزيت والغاز يحلان محل الفحم، ليس بسبب الاحتراق النظيف دون أى رماد فقط، ولكن أيضا لأنه يمكن نقلهما بخطوط الأنابيب، ء وكذلك بالبواخر والسكك الحديدية .

وقد شهدت السنوات الأخيرة من القرن العشرين تقدما هائلا فى صناعة المفاعلات النووية، ء كما زادت فى الوقت نفسه معاملات الأمان فى تلك المفاعلات، بحيث أصبحت الطاقة النووية هى البديل الوحيد للوقود الحفرى نظرا لتكلفته المنخفضة وأمانه البيئى. وقد تزايد الطلب على إنشاء المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربية ولتحلية المياه، كما احتل الوقود النووى مؤخرا موقع الصدارة بين مصادر الطاقة الأخرى .

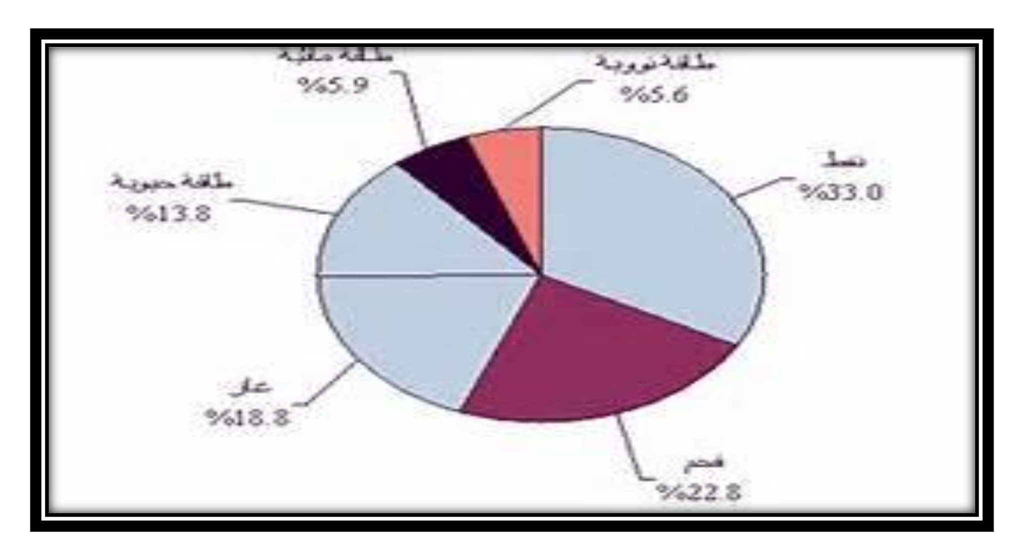
تقسيم مصادر الطاقة:

الطاقة بشكل عام تعرف بالمقدرة على فعل شيء معيّن وتحويل هذه الطاقة من شكل الى آخر ، والطاقة المعروفة في حياة الإنسان قد تعبّر عنها بشكل من الأشكال والتي بدورها تقوم بعمل معيّن تتحوّل فيه الى شيء آخر تستفاد منها لعمل غرض معيّن ، ويمكن أن تأخذ الطاقة شكل من الأشكال الطبيعيّة المتعارفة مثل الطاقة الحرارية ، الكيميائيّة ، كهربائيّة ، إشعاعات نووية ، طاقة حركيّة ، أو طاقة كهرومغناطيسيّة ، وجميع هذه الطاقات يمكن تصنفيها على أنّها طاقات حركيّة أو طاقات كامنة ، والبعض من هذه الطاقات من الممكن أن تكون مزيج من الطاقتين .

جميع أنواع الطاقات تحوّل من طاقة الى أخرى عن طريق جهاز معيّن أو أداة بسيطة تعمل على تحويل الطاقة أو أدوات وتقنيات معقّدة مثل تحويل الطاقة الكيميائيّة الى طاقة كهربائيّة عن طريق البطاريات ، أو تحويل الطاقة الحراريّة الى كيميائيّة ، أو تحويل الطاقة الشمسيّة الى طاقة حرارية ... الخ .




مصادر الطاقة
طاقة متجددة
طاقة غير متجددة
الشمس
حركة الامواج
الرياح
مساقط المياه
الكهرباء الكهرومائية
الفحم
البترول
الغاز الطبيعى
الكهرباء الحرارية


طاقة مائية
%5.9
طاقة نووية
%5.6
نفط
%33.0
طاقة حيوية
%13.8
غاز
%18.8
فحم
%22.8

من خلال تعريف الطاقة نجد أن مصادر الطاقة يمكن أن تقسم إلى مصدرين رئيسيين هما: 1-مصادر غير متجددة . ٢- مصادر متجددة .

أولاً :مصادر الطاقة الغير متجددة:

وهي عبارة عن المصادر الناضبة أي أنها سوف تنتهي عبر زمن معين لكثرة الاستخدام ، وهي متوفرة في الطبيعة بكميات محدودة وغير متجددة وتشمل الوقود الأحفوري مثل النفط والغاز والفحم بكل الأنواع التي تكونت عبر السنين الماضية في جوف الأرض. وهي ذات أهمية لأنها تختزن طاقة كيميائية من السهل إطلاقها كطاقة حرارية أثناء عملية الاحتراق.

وتشمل هذه المصادر الطاقة النووية التي تستخدم في عملية توليد الكهرباء عن طريق استخدام الحرارة الناتجة عن عمليات الانشطار النووي في المفاعلات النووية. وكذلك نجد أن مصادر هذه الطاقة بجانب أنها ناضبة فإنها ملوثة للبيئة.

ثانياً :مصادر الطاقة المتجددة :

وهي عبارة مصادر طبيعية دائمة وغير ناضبة ومتوفرة في الطبيعة سواء أكانت محدودة أو غير محدودة ولكنها متجددة باستمرار ، وهي نظيفة لا ينتج عن استخدامها تلوث بيئي ومن أهم هذه المصادر الطاقة الشمسية التي تعتبر في الأصل هي الطاقة الرئيسية في تكوّن مصادر الطاقة وكذلك طاقة الرياح وطاقة المد والجزر والأمواج والطاقة الحرارية الجوفية والطاقة وطاقة المساقط المائية وطاقة البناء الضوئي والطاقة المائية للبحار والمحيطات وكذلك نلاحظ أن المصادر المائية وطاقة المد والجزر وطاقة الرياح هي عبارة مصادر طبيعية للطاقة الميكانيكية.

وسوف نتكلم عن تلك المصادر بالتفصيل:

أولاً:المصادر الغير متجددة:

الوقود الأحفوري:

وهو يشمل النفط والغاز الطبيعي والفحم وتعرف بمصادر غير متجددة لأنها ناضبة. والوقود الأحفوري هو عبارة المركبات العضوية الناتجة عن عمليات البناء الضوئي حيث أن المواد العضوية للنباتات والحيوانات لم تتحلل تحليلاً كامل ، بل طمرت تحت طبقات من التربة الرملية والطينية والجيرية ، مما نتج عنه تكوّن النفط والغاز الطبيعي والفحم الحجري وطاقة الوقود الأحفوري هي طاقة كيميائية كامنة في البترول والغاز الطبيعي والفحم المخزون في باطن الأرض وهذه الطاقة هي أصلاً من الطاقة الشمسية التي قامت عليها النباتات بواسطة عملية البناء الضوئي منذ ملايين السنين .وقد كان الفحم من أهم المصادر الطبيعية للطاقة خلال القرن الماضي ومازال يستعمل حتى يومنا هذا ، ويساهم حالياً بحوالي ٢٨ % من الطاقة من الاستهلاك العالمي. حيث يقدر الفحم الموجود داخل الأرض بعدة مئات من البلايين من الأطنان.

الفحم الحجري:

وهو من أهم مصادر الطاقة الأحفورية من حيث حجم احتياطه ، فالفحم الحجري يتكون داخل باطن الأرض على مدى ملايين السنين وذلك بسبب تحلل مصادر نباتية بسب العمليات البيولوجية في أماكن ذات الضغط الشديد والحرارة ومعزولة عن الهواء.





ويعتبر النفط أكبر منافس للفحم الحجري ، ومن أسباب قلة استخدام الفحم الحجري مصدراً للطاقة هو أن مصادره تتركز في عدد قليل من الدول.

كما أن استخدام الفحم الحجري وقوداً مباشرة يستلزم أموال باهظة التكلفة لمحطات التوليد . ومن الأسباب في عدم استخدام الفحم على نطاق واسع هو أثره السيء على البيئة والإنسان إذ أنه مصدر رئيسي لتلوث الهواء وما يسببه من مشاكل صحية.

والتعدين السطحي للفحم الحجري يخلّف وراءه أراضي وعرة مما تؤدي إلى تشويه التربة وعدم صلاحيتها للزراعة كما أن احتراق الفحم الحجري قد يؤدي إلى تجمع غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجو وهي تعتبر من المشاكل الرئيسية التي تواجه سكان العالم وذلك بسبب ما يعرف بالاحتباس الحراري.





.

الفحم الحجري والرواسب الفحمية والنباتية المختلفة: كلها رواسب من أصل عضوي (نباتي) ترسبت في بيئة الغابات والمستنقعات ثم بعد ذلك تحللت وتفحمن (أي تركز بها الكربون).

فالمادة المعروفة باسم بيت Peat هي ماد نباتية مكدسة في البلاد الرطبة وهي أشبه بالبرسيم المجفف المضغوط وتبلغ نسبة الكربون فيها ٦٠%.

أما الفحم الكاذب أو الليجنيت Lignite فهو عبارة عن رواسب نباتية مضغوطة تحتوي من ٥٥% إلى ٧٥% كربون. سمراء اللون ، وهي توجد عادة ضمن طبقات عصور جيولوجية حديثة. أما الفحم الحجري أو الأنثراسيت Anthracite ، فهو صخر أصم حالك السواد سريع الكسر ومكسره محاري. وتبلغ نسبة الكروبن به من ٧٥% إلى ٩٠% ويتحرق بسهولة فيعطي لهبا صافيا. ويوجد الفحم الحجري عادة في طبقات تتخلل طبقات أخرى من الصخور الرملية والطينية تابعة للعصر الكربوني.



. تواجد الفحم:

يوجد الفحم فى طبقات تتراوح فى السمك بين سنتيمترات قليلة إلي ٣٠ مترا أو أكثر. وإذا وجدت الطبقات مدفونة فى الأعماق فإنه يتم حفر المناجم تحت الأرض لاستخراج الفحم . وعندما تتواجد طبقات الفحم بالقرب من سطح الأرض فإن الفحم يستخرج بطريقة المنجم المكشوف strip mine، حيث يتم إزالة الغطاء الصخرى حتى ينكشف الفحم عند السطح.

وتتواجد رواسب الفحم المنكشفة فى مصر بمنطقتى المغارة (عصر الجوراسى) وأم بجما (عصر الكربونى) بسيناء . وقد يتواجد الفحم كرواسب تحت سطحية كما هو الحال بمنطقة عيون موسى (عصر الجوراسى) بسيناء بمصر.



coal mine

يتواجد الخام في مصرفي مناطق:

١) المغارة.
٢) عيون موسى
٣) بدعة وثورا.
٤) الواحات الداخلة.
٥) الواحات الخارجة.

أما عن طريقة تعدين الفحم في مصر ونظراً لطبيعته الجيولوجية حيث تتواجد على أعماق بعيدة من سطح الأرض كما هو الحال في منطقة المغارة فإنه يتم استغلاله بطريقة (المناجم تحت السطحية) بطريقة (Room &Piller).

كيف تكوَّن الفحم الحجري:

كون الفحم الحجري من بقايا نباتات ماتت ودفنت قبل ٤٠٠مليون إلى مليون عام. ولهذا فإن الفحم الحجري يمكن اعتباره وقودًا أحفوريًا. ويعتقد أن النباتات التي شكلت الفحم الحجري قد نمت في مستنقعات.وعند موت النباتات تشكلت بالتدريج طبقة سميكة من مادة النبات فوق قاع المستنقع. ثم أخذت تلك المادة تتصلب مع الزمن وتتحوّل إلى مادة أخرى تسمى الخُث (نسيج نباتي متفحم). ومع مرور الزمن أصبحت رواسب الخث مدفونة تحت الرمال والمعادن الأخرى. وبتراكم المادة المعدنية فإن بعضًا منها قد تحوَّل إلى صخر كحجر الرمل والطَّفل. وبتزايد ثقل الطبقات الصخرية وثقل المواد الأخرى الفوقية بدأ تحوُّل الخث إلى فحم حجري. ويطلق على الفحم الحجري والحجر الرملي والصخور الأخرى التي تشكلت من مواد مترسبة اسم الصخور الرسوبية.

تنتج المرحلة الأولى من مراحل تكوين الفحم الحجري فحمًا بنيًا داكن اللون يسمى اللجنيت (خشب متمعدن). ويتطور اللجنيت عن ترسبات الخث المدفونة الواقعة تحت ضغط شديد آت من ثقل المواد التي تعلو ترسبات الخث، وكذلك من تأثير الحركات الداخلية لقشرة الأرض. وباستمرار زيادة الضغط يتحول اللجنيت إلى فحم أكثر صلابة يسمى الفحم تحت القاري أو تحت الحمري. وتحت ضغوط أعظم يتحول الفحم شبه القاري إلى فحم أشد صلابة وقوة يسمى الفحم القاري أو الحمري. وتحت تأثير ضغوط بالغة الشدة يتغير الفحم القاري إلى فحم الأنتراسيت، وهو أكثر أنواع الفحم الحجري صلابة.

وفي معظم الحالات يكون الأنتراسيت هو أقدم أنواع الفحم عمرً كما يكون اللجنيت أحدثها عمرًا بين أنواع الفحم الأخرى. وقد بدأت بعض أنواع الأنتراسيت بالتشكل قبل ما يزيد على ٤٠٠ مليون عام. بينما تشكلت بعض أنواع اللجنيت خلال المليون عام الماضية. وأعظم عصر تشكل فيه الفحم الحجري كان أثناء حقبة من تاريخ الأرض تعرف بالعصر الكربوني، وذلك قبل حوالي ٢٩٠- ٣٦٠ مليون عام. وقد غطت المستنقعات أجزاء كبيرة من سطح الأرض أثناء ذلك العصر. كما نمت نباتات السراخس الطويلة، والنباتات شبيهة الأشجار في هذه المستنقعات وأنتجت بعد موتها كميات ضخمة من المادة المكوِّنة للخث. وتعرف الآن ترسبات وفيرة من الفحم القاري تطورت عن كميات هائلة من ترسبات الخث التي تشكلت أثناء العصر الكربوني. ويستلزم حوالي ١-٢ متر من مادة النبات المضغوط لإنتاج طبقة ذات سمك ٠,٣م من فحم البتومين.

ولاتزال المواد النباتية تتراكم في بيئات ملائمة لتشكل الفحم الحجري،كبيئات أراضي المستنقعات الواسعة مثل أرض الإفرجليدز في جنوبي فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمكن أن يتطور تشكيل الخث في ظروف ملائمة من المواد النباتية المتراكمة، ثم يتحول بعد مئات آلاف السنين إلى أنواع أخرى مختلفة من الفحم الحجري.

تسمى طبقات الفحم الحجري راقات الفحم الحجري أو عروق الفحم الحجري. ويتراوح سمك هذه الراقات بين أقل من ٢,٥ سم و١٢٠م أو أكثر. وتتكون راقات الفحم الحجري الأكثر سمكًا من أنواع شبه قارية أو أنواع لجنيتية. ويتألف العديد من رواسب الفحم الحجري من راقين أو أكثر يكونان منفصلين بعضهما عن بعض بطبقات صخرية. ونشأت هذه التكوينات بوساطة مستنقعات ملائمة جديدة مُشكِّلة للفحم الحجري تطورت فوق مستنقعات أخرى مدفونة. وكل مستنقع جديد أصبح مدفونًا تطور إلى راق من الفحم الحجري المستقل.

وتقع بعض طبقات الفحم الحجري موازية لسطح الأرض تقريبًا. وتكون طبقات أخرى مائلة بفعل الحركات الأرضية وتوجد بزاوية مائلة مع سطح الأرض. وعادة ما تتكون طبقات الفحم الحجري العميقة من فحوم الأنتراسيت القار. وفي حالات عديدة نجد أن الحركات الأرضية قد قامت برفع طبقات فحوم الأنتراسيت القار العميقة إلى وضع قريب من سطح الأرض. وتعتبر مثل هذه الحركات الأرضية مسؤولة أيضًا عن وجود راقات فحمية في التلال والجبال.



مراحل تكون الفحم الحجري يشتمل تكون الفحم الحجري على ثلاث مراحل رئيسية: ١- تحول وتبدل بقايا النباتات الميتة إلى مادة تسمى الخث ٢- دفن الخث ٣- وقوع الخث المدفون تحت ضغط شديد لمدة آلاف أو ملايين السنين يتحول بعدها إلى فحم حجري. والأشكال التالية توضح كلا من المراحل الثلاث.

استعمالات الفحم الحجري:

تعتمد طريقة استخدام الفحم الحجري على تركيبه الكيميائي ومحتوى الرطوبة فيه. وغالبًا ما يشار إلى الفحم الحجري كمعدن، إلا أنه ليس معدنًا حقيقيًا؛ إذ ليس له تركيب كيميائي ثابت. تتركب كل الفحوم الحجرية من أجسام صلبة معينة ومن رطوبة. أما الأجسام الصلبة فتتركب

أساسًا من عناصر الكربون والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين والكبريت. ولكن الفحوم الحجرية تتباين كثيرًا من حيث محتواها من هذه العناصر، وكذلك من حيث محتواها من الرطوبة. وفي الحقيقة لا يوجد ترسبان من الفحم الحجري متشابهان تمامًا من حيث التركيب.

تصنف الفحوم الحجرية عادة طبقًا لكمية محتواها من الكربون. وعليه تُجمع الفحوم الحجرية في أربعة أصناف أو رتب رئيسية هي :

١- الأنتراسيتات .

٢- الفحوم الحمرية أو القارية .

٣- الفحوم تحت الحمرية أو تحت القارية.

٤- اللجنيتات أو الفحوم البنية اللون.

ويتناقص محتوى الكربون في الفحوم الحجرية مع تدني رتبها. فالأنتراسيتات ذات الرتبة الأعلى تحتوي على حوالي ٩٨% من عنصر الكربون، بينما يحتوي اللجنيت ذو الرتبة الأدنى على حوالي ٣٠% من عنصر الكربون. أما كمية الرطوبة في الفحوم الحجرية فتتزايد عكسيًا مع تدني رتبها في الفحوم تحت القارية واللجنيتات. وتحتوي الفحوم الأخيرة على طاقة حرارية أقل من الطاقة الحرارية في كل من الأنتراسيتات والفحوم القارية. ويشار إلى الطاقة الحرارية على أنها كمية الحرارة الناتجة عن احتراق مقدار مُعَيَّن من الفحم الحجري.

والفحوم الحمرية ـ إلى حد بعيد ـ من الفحوم الأكثر وفرة، كما أنها الأكثر استخداما من بين رتب الفحم الحجري الرئيسية. وهي ذات طاقة حرارية أعلى قليلا مما تنتجه فحوم الأنتراسيتات، وهي الفحوم الوحيدة الملائمة لإنتاج الكوك. أما الأنتراسيتات فهي صعبة الاشتعال كما أنها بطيئة الاحتراق لاتناسب الطرق الحديثة المعتادة لإنتاج الطاقة الكهربائية من الفحم الحجري. كما أنها الأقل وفرة من بين رتب الفحوم الحجرية الأربع.

كيفية تعدين الفحم الحجري:

يمكن تقسيم مناجم الفحم الحجري إلى مجموعتين ١ - المناجم السطحية. ٢- المناجم التحت أرضية.

يتضمن التعدين السطحي في معظم الحالات تجريد وإزالة التربة والصخور القابعة فوق ترسب الفحم الحجري. وتعرف هذه المواد التي تغطي ترسبات الفحم الحجري باسم الغطاء الصخري أو الترابي. وبعد إزالة هذا الغطاء يمكن استخراج الفحم الحجري بسهولة وحمله بعيدًا.

ويشمل التعدين حفر القنوات إلى ترسبات الفحم الحجري. وعادة ما يكون التعدين السطحي مختصًا بترسبات الفحم الحجري الموجودة في حدود ٣٠ - ٦٠م تحت سطح الأرض.

وكلما زاد حجم الغطاء الصخري الواجب إزالته، أصبح التعدين السطحي أكثر صعوبة وتكلفة. أما ترسبات الفحم الحجري المتعمقة بما يزيد على ٦٠م فتعدن بطرق التعدين التحت أرضي.



لتعدين بالتجريد والكشط يعتمد على آليات إزالة الأتربة العملاقة مثل تلك التي تظهر في أعلى هذه الصورة. إن مزيلات الأتربة تجرد وتكشط التربة والصخر الواقع فوق ترسب الفحم الحجري. وتقوم آلية اقتلاع الفحم الحجري (وسط الصورة) بغرف الفحم الحجري وتحميله في الشاحنة.

التعدين السطحى:

تتم جميع عمليات التعدين السطحي غالبًا بالتجريد أو الكشط بمعنى أن عملياته تبدأ بكشط وإزالة الغطاء الصخري والتربة من فوق الخام. فتتكشف راقات الفحم الحجري على جوانب التلال أو الجبال. ويجري تعدين هذه الراقات من على سطح الأرض بدون إزالة أي غطاء، ويستعمل عمال المناجم آلات تسمى المثاقب اللولبية التي تنتزع الفحم الحجري. وتسمى هذه الطريقة من التعدين السطحي التعدين بالمثقب اللولبي.

التعدين بالتجريد:

يعتمد على استخدام آلات قوية تقوم باقتلاع الغطاء الصخري ورميه خارج المقتلع (ويسمى الغطاء المقتلع بالتلف). ومع مرور الزمن يمكن أن يغطي منجم التعدين بالتجريد وتوالفه مساحة واسعة من الأرض. كما أن حفر واقتلاع مساحات شاسعة من الأرض يمكن أن تكون قد تسبّبت في الماضي في مشاكل بيئية خطيرة. ونتيجة لذلك تفرض بعض الحكومات على أصحاب المناجم استصلاح الأراضي التي تم تجريدها، بمعنى إعادة هذه الأراضي إلى وضعها الأصلي قدر

الإمكان. ومن ثم يتضمن التعدين بالتجريد والكشط نهجين هما: ١- تعدين الفحم الحجري ٢- استصلاح الأراضي.

تعدين الفحم الحجري:

تتَّبع معظم المناجم التي تُعدّن الفحم الحجري بطريقة التجريد والكشط نفس الخطوات الرئيسية في إنتاج الفحم الحجري. ففي البداية تقوم الجرافات (البلدوزرات) بتنظيف وتسوية منطقة التعدين. ثم يجرى حفر ثقوب صغيرة خلال الغطاء الصخري حتى راق الفحم الحجري. ثم يُحشى كل ثقب بالمتفجرات. وعند تفجيرها تتحطم صخور الغطاء. ثم تبدأ الجرافات العملاقة القوية (الشاولات) وآلات إزاحة تراب أخرى إزالة وحمل التربة وحطام الصخور بعيدًا. وقد يبلغ ارتفاع بعض هذه الآلات المزيحة للتراب ما يوازي ارتفاع مبنى مؤلف من عشرين دورًا، وبإمكانها إزالة ما يزيد على ٣,٢٠٠ طن متري من الغطاء الصخري والترابي. وبعد أن يتم كشف مساحة مناسبة من راق الفحم الحجري تقوم جرافات آلية صغيرة أو آلات اقتلاع الفحم الحجري بغرفه وتحميله على شاحنات، حيث تُحمّل الشاحنات بالفحم الحجري من المنجم إلى خارجه.

ومع أن معظم التعدين بالتجريد والكشط يتبع نفس الخطوات الرئيسية إلا أن طرق التعدين بالتجريد والكشط تختلف فيما بينها طبقا لكون الأرض منبسطة أو تلّية. ولهذا يمكن تصنيف التعدين بالتجريد والكشط على صورة: ١- تعدين مساحي ٢- تعدين كنتوري.

ويطبق التعدين المساحي حين تكون الأرض مستوية نسبيا، ويطبق التعدين الكنتوري في الأراضي الجبلية أو التلّية. ويقصد بالتعدين الكنتوري، التعدين حول المنحدرات الجبلية.

وفي التعدين المساحي، تقوم آلة إزالة التربة باقتلاع كل الغطاء الصخري المتكسر على امتداد شريط من الأرض على حافة حقل الفحم الحجري، ويسمى الخندق العميق الناتج القطع. وأثناء قيام آلة إزالة الأتربة بعمل القطع فإنها تكوم التلف على امتداد جانب القطع بعيدًا عن منطقة التعدين. ويشكل ركام التلف حافة بارزة تسمى رصيف التلف. وبعد اكتمال القطع يتم اقتلاع الفحم الحجري منه وتحميله بعيدًا على شاحنات. ثم تقوم آلة إزالة الأتربة بحفر قطع ثان مماثل على امتداد جانب القطع الأول، وتكوم ركام التلف من هذا القطع الجديد في مكان القطع الأول المنتهي. وهكذا تتكرر هذه العملية على امتداد حقل الفحم الحجري حتى يتم تعدينه كاملاً. وتتشكل أرصفة التلف سلاسل من حواف طويلة متوازية فوق مساحة من الأرض يمكن تسويتها فيما بعد.

ويعتبر التعدين المساحي غير عملي إذا كانت راقات الفحم الحجري كامنة داخل التلال. وفي حالة وجود راقات الفحم الحجري بالقرب من قمة التل، يمكن لآلة إزالة الأتربة كشط وإزالة قمة التل، ومن ثم يتكشف الفحم الحجري. أما في حالة وجود راق الفحم الحجري قرب قاعدة التل، فيجب تعدينه على الكنتور؛ أي حول المنحدرات.

في التعدين بالكنتور، تقوم آلة إزالة الأتربة بإزالة الغطاء الصخري المحطم والمفتت مباشرة من فوق المنطقة، حيث ينكشف راق الفحم الحجري حول التل. ويشكل القطع الناتج رفًا أو إفريزًا واسعًا ممتدًا على جانب التل. ويتم تجميع وتخزين التلف بصورة مؤقتة على جانب التل أو استعماله في ملء القطوع لاحقًا. وبعد تعدين الفحم الحجري ونقله بعيدًا يمكن لآلة إزالة الأتربة أن تصعد المنحدر وتقوم بحفر قطع آخر فوق القطع الأول مباشرة، ومع ذلك يزداد عمق الغطاء الصخري بحدّة مع زيادة ارتفاع المنحدر. وبعد القطع الأول أو الثاني ربما يصبح الغطاء الصخري كبيرًا للغاية؛ ومن ثم لا تستطيع الآليات أن تزيله بكفاية. ولكن إذا كان راق الفحم الحجري سميكًا بشكل كاف، فإن المهندسين قد يحفرون منجمًا تحت سطح الأرض لأخذ ما تبقى من الفحم الحجري.

النفط :

البترول مخلوط مركب من الهيدروكربونات، يوجد في الأرض في الصور السائلة والغازية والصلبة، ولكن المصطلح يطلق، عادة، على الصورة السائلة، التي تسمى بالزيت الخام، دون الغاز الطبيعي، أو الصورة اللزجة، أو الصلبة المعروفة بالبتيومين أو الأسفلت.

أصبحت البتروكيماويات المشتقة من البترول مصدر كثير من المنتجات الكيميائية، كالمذيبات والطلاء والبلاستيك، والمطاط الصناعي، والألياف الصناعية، والصابون والمنظفات والشمع، والمتفجرات والأسمدة. وقد أشرنا إلى أن بقايا النباتات المائية والحيوانات قد اختلطت بالطمي والرمال وبرواسب معدنية مختلفة، وتحولت إلى طبقات من الرسوبيات التي تزايد سمكها عبر ملايين السنين، وتعرضت إلى عدد من المؤثرات التكوينية، فتحولت جيولوجياً إلى صخور رسوبية، وتحللت المكونات العضوية فيها إلى هيدروكربونات، تكون منها زيت البترول والغاز الطبيعي، اللذين هاجرا من طبقات صخور المصدر إلى صخور المكمن، ذات المسامية والنفاذية الأكبر، ثم حجزتهما صخور الغطاء؛ لتتكون بذلك مصائد البترول، وخزانات الخامات البترولية.

وتختلف الخواص الطبيعية والتركيب الكيميائي للخامات البترولية وفقا لمصادر إنتاجها، على الرغم من تشابه تركيب أغلب الرواسب العضوية وخواصها، ويرجع ذلك إلى اختلاف الظروف الطبيعية التي تكون فيها البترول، من ضغط وحرارة، وتفاوت أعماق صخور المصدر والمكمن. وتنتقل الخامات البترولية عبر مسام الصخور الرسوبية، التي تتباين أيضاً في صفاتها الطبيعية والكيميائية والمعدنية وأعمارها الجيولوجية. لتتجمع في المكامن البترولية، التي تختلف، أيضاً، في تراكيبها الجيولوجية ومحتوياتها من المعادن، وخواصها الطبيعية والكيميائية، ويظل البترول في حالة امتزاز واحتكاك على أسطح مسام صخور المكمن، التي تمثل حفازات طبيعية لتفاعلات عضوية عديدة. كما يحتك البترول في أثناء هجرته، بالمياه الجوفية؛ ليكون بعض المستحلبات الزيتية في الماء أو المائية في الزيت. وتدخل عناصر عدة في تركيب الخامات البترولية كالكبريت سواء بالذوبان الطبيعي أو الاتحاد الكيميائي مع الهيدروكربونات المختلفة. وهكذا

يؤدي تعدد المؤثرات التكوينية، واختلاف أعمار صخور المصدر والمكمن إلى تباين كبير في خواص المكونات البترولية.

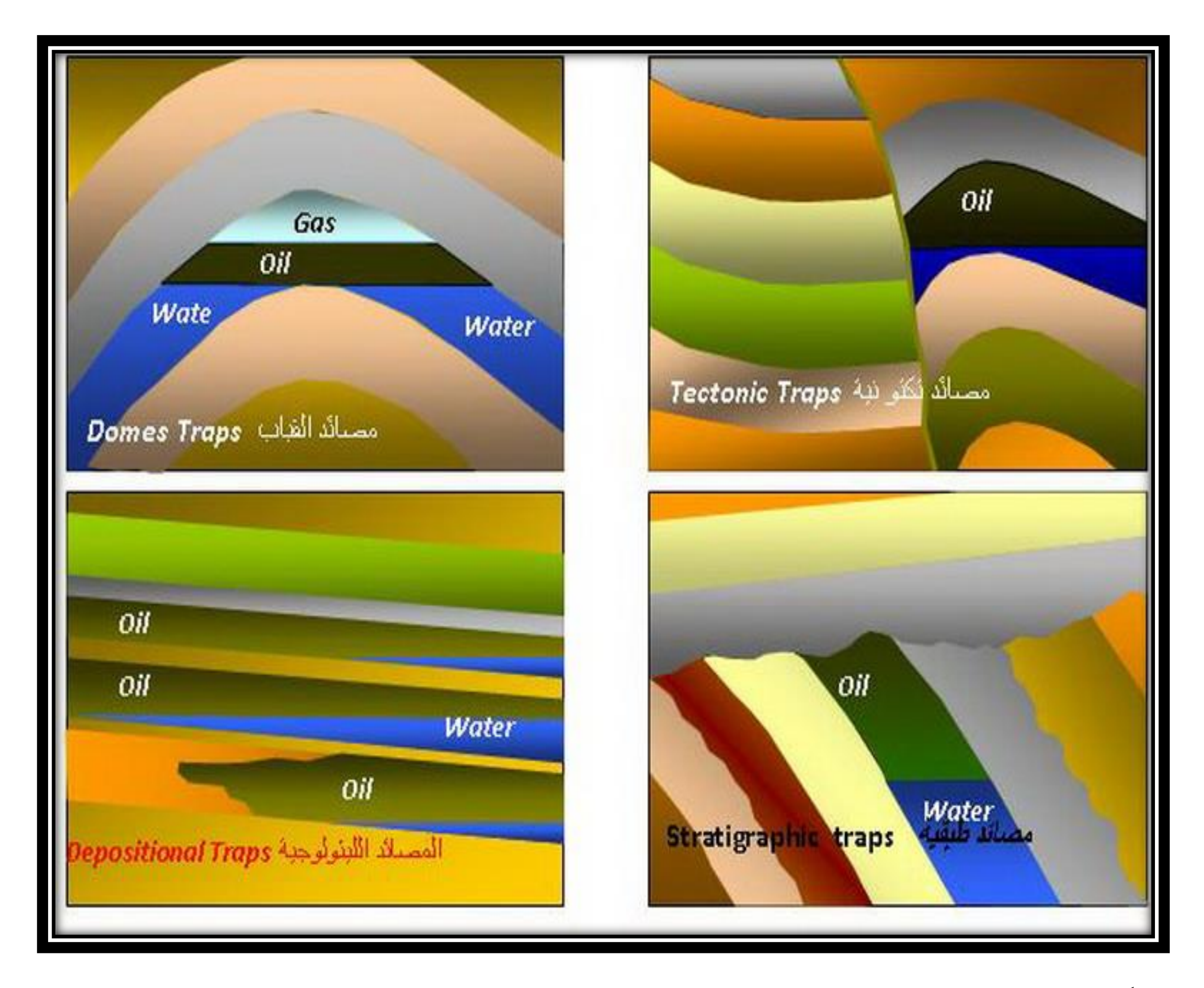


وتتواجد تلك التجمعات البترولية عندما تتحقق ثلاثة شروط معا وهى:

(١) **صخر مصدرى source rock :** يحتوى على مادة عضوية تتحول إلي بترول نتيجة الدفن وتغيرات ما بعد الترسيب ، مثل صخر الطفل، ويتم الدنن على عمق كاف (أو نضوج حرارى thermal maturity) ليتم ´´"طبخ cooking" الزيت والغاز من المادة العععضوية .

(٢) **صخر خزان reservoir rock :** ذو مسامية ونفاذية تكفى لأن يخزن البترول وينتقل عبره، مثل الحجر الرملى أو الحجر الجيري.

(٣) **مصيدة بترولية oil trap:** وهى مجموعة من الظروف التي تحتفظ بالبترول وتحتجزه بكميات كبيرة فى صخر الخزان وتمنع هروبه بالهجرة migration، ولابد من تواجد الظروف الثلاثة السابقة معا. وإذا لم يتحقق أحد تلك الشروط، فلن يستطيع الصخر حفظ وحجز الزيت أو الغاز. ويؤدى ضغط الراسب الطينى العضوى فى طبقات المصدر إلي دفع السوائل والغازات المحتوية على الهيدروكربونات فى الصخور المسامية (مثل الحجر الرملى أو الحجر الجيرى المسامى) التي تمثل خزانات الزيت. وتسبب الكثافة المنخفضة للزيت والغاز فى طفو الزيت والغاز فوق الماء الذى يتواجد بصفة دائمة تقريبا فى مسام الصخور المنفذة .



أولاً: المؤثرات التكوينية على المكونات البترولية:

تأتي تأثيرات درجة الحرارة في مقدمة هذه المؤثرات التكوينية، مع أن الحل أو التكسير الحراري Pyrolysis للهيدروكربونات لا يبدأ إلا عند درجات حرارة عالية، قد تصل إلى ٣٥٠°م أو أكثر، وهو ما لا يتوفر في طبقات الصخور الرسوبية في أثناء تكوين البترول أو تحركه أو تجمعه في المكامن. إلا أن ازدياد الضغط ووجود الطفلة، وهي عنصر رئيسي من مكونات العديد من الصخور الرسوبية، يتيحان إتمام هذا التحول الحراري في درجة حرارة ١٥٠ - ٢٠٠ درجة مئوية. ومع أن هذه الدرجة قد لا تتحقق في صخور المصدر بسبب المياه الجوفية التي تخفض درجة حرارة الصخور، لكن توفر الوقت الطويل، الذي يصل إلى ملايين السنين، لتحقيق الاتزان الحراري الضروري لتفاعلات التحول الحراري يعوض هذا النقص النسبي في درجات الحرارة المطلوبة لنزع ثاني أكسيد الكربون، ومجموعات الأمينات Deamination، وللتخليق أو الهدرجة Hydrogenation، وتفاعلات التجازئية Isomerism. هذا، وتزداد درجة حرارة الصخور الرسوبية طبقا لازدياد العمق في القشرة الأرضية بمعدل ٠,٥ - ١,٢ درجة مئوية لكل مائة قدم.

ويؤدي ازدياد درجة حرارة التكوين أو درجة حرارة المكمن البترولي إلى ازدياد نسبة المركبات المحتوية على أقل من ١٥ ذرة كربون، على حساب المكونات الهيدروكربونية العالية التي تحوي أكثر من ١٥ ذرة كربون، مما يعني تكون الخامات الخفيفة التي تزداد فيها نسب الجازولين والمقطرات الوسطى، وتقل نسب المقطرات الثقيلة والمخلفات، مثلما يزداد المحتوي البارافيني. وهكذا فإن ازدياد النضج الحراري Thermal Maturation يـؤدي إلى تكون الخامات الخفيفة ذات المحتوى الكبريتي المنخفض، والبارافيني العالي نسبيا.

والمؤثر التكويني الثاني هو الضغط الذاتي للحقول البترولية، الذي يتناسب طرديا مع عمق الطبقات في القشرة الأرضية نتيجة طبيعية للزيادة المستمرة في كتلة الصخور المتراكمة فوق المكامن البترولية Vertical Pressure. ويزداد الضغط أيضا في هذه المكامن بفعل التحركات المستمرة في القشرة الأرضية Tectonic Movements التي تؤدي إلى تكوين القباب Domes نتيجة الضغط الأفقي. كذلك تنتج عن تفاعلات التحول الحراري للخامات البترولية كميات كبيرة من الغازات الذائبة في الزيت أو التي تعلوه، وتتميز بعلو ضغطها البخاري، ما يزيد الضغط الذاتي للمكامن البترولية. ويؤثر ازدياد الضغط بدوره على مسار واتزان تفاعلات التحول الحراري، ويزيد المكونات الخفيفة في الخام، وبالتالي تنخفض الكثافة النوعية له.

ولعامل الزمن تأثير فعال على المكونات البترولية، إذ تواكبه تأثيرات الضغط والحرارة حتى تصل تفاعلات التحويل البترولية Petroleum Conversion Reactions إلى الاتزان، ومرة أخرى تتناقص الكثافة النوعية للخام البترولي مع ازدياد عمر التكوين، الذي يختلف من العصر الثلثي إلى الدهر الوسيط أو حقبة الحياة القديمة. وفي ظل الضغط العالي وارتفاع درجة الحرارة تذوب كميات كبيرة من الغازات البترولية والغازات الأخرى المصاحبة لها في السوائل البترولية، مما يحدث تغييرات في الاتزان الطبقي في المكامن، ومع ذوبان هذه الغازات يترسب الأسفلت فتزداد الكثافة النوعية للخام ويتناقص المحتوى الكبريتي فيه.

ومن بين المؤثرات الأخرى على التركيب الكيميائي للخامات البترولية في أثناء فترة التقادم المسماة بفترة النضج البترولي Aging of Petroleum التعرية المناخية التي تؤدي إلي تعرض البترول للماء أو الهواء، وما يحدث عندئذ من تبخر المكونات الخفيفة، وتكون البتيومين، وبعض تفاعلات الأكسدة، وزيادة المحتوى الأكسجيني، وارتفاع الكثافة النوعية ودرجة اللزوجة. كذلك تتأثر المكونات البترولية بالاحتكاك المستمر بماء التكوين والمياه الجوفية المحتوية على نسب مختلفة من الأكسجين، ويساعد الهواء الذائب في المياه الجوفية على تكوين بعض المنتجات الأسفلتية التي قد تترسب أو تظل معلقة في الخامات البترولية، كما أن المياه الجوفية بما تحتويه من بكتيريا وهواء تسبب تغييرات في المحتوى الهيدروكربوني للخامات في ظروف الأكسدة. وتزداد، كذلك، الكثافة النوعية، وتتناقص نسبة الكبريت، خلال النضج الحراري للهيدروكربونات، لا سيما مع تزايد نسبة ذوبان الغازات البترولية في الخام.

ثانياً: تجمع البترول:

بعد تكون البترول في طبقات المصدر ينتقل غالباً لمسافات كبيرة، من خلال مسام الصخور الرسوبية حتى يستقر في مكامنه المسماة بالمصائد البترولية Petroleum Traps، التي يستخرج منها الخام. ولا شك أن تراكم الصخور الرسوبية فوق طبقات المصدر يزيد تضاغط compression وضغط Pressure الطبقات الحاوية للبترول ما يؤدي إلى هجرة الخامات البترولية إلى طبقات عالية المسامية والنفاذية، كالصخور الرملية أو الجيرية أو الدولوميت. وتتحرك هذه الخامات من خلال التشققات والصدوع التي تتكون نتيجة لتحركات القشرة الأرضية المستمرة Tectonic Movements من خلال مسارات شبكية تسمح بتسرب السوائل والغازات من منطقة لأخرى عمودياً وعرضياً في أغلب الأحوال، وإن كان ذلك لا ينفي إمكانية التكون والتجمع الموضعي للبترول في طبقة واحدة، وارتحاله لمسافات صغيرة فيها في بعض الأحيان.

ويخضع البترول، بعد تجمعه في المصائد البترولية ذات التراكيب الجيولوجية الخاصة التي تحد من حركة خاماته، وتؤدي إلى تجمعه في مكامن محدودة، لكافة المؤثرات التكوينية التي أشرنا سالفاً إليها، ومنها تأثير الجاذبية الأرضية، ثم تنفصل الغازات والسوائل البترولية عن ماء التكوين ويبدأ تكونها في حالة اتزان طبقي وفق كثافاتها النسبية.

ويمكن تقسيم مكامن البترول إلى مكامن غير مشبعة بالغاز، وأخرى فيها غاز مذاب، وثالثة يعلوها الغاز، ورابعة أسفلها الماء، وخامسة أعلاها الغاز وأسفلها الماء.

والمكامن غير المشبعة بالغاز، لا تحتوي إلا على القليل منه، ونتيجة لتخفيف الضغط على المكمن عند الإنتاج فإنه يستمد طاقته الذاتية من تمدد سوائل المكمن بما فيها النفط والماء أسفله، ما يساعد على دفع البترول نحو الآبار، ثم تتقلص المسام بفعل تمدد حبيبات الصخور ما يساعد على طرد جزء من الخام، كما أن تجمع البترول بفعل الجاذبية أسفل المكمن يسهل إمكانية ضخه من خلال آبار تحفر في أسفله. وهذا النوع يتميز بضعف معدل تدفق البترول عند بدء الإنتاج من الآبار، ويتناقص ضغط المكمن بسرعة، وبالتالي تتدنى نسبة الإنتاج إلى نحو ٥ - ١٠% من إجمالي بترول المكمن.

أما المكامن فهي التي يختلط فيها الغاز بالخام نتيجة الضغط الواقع عليه في المكمن وارتفاع درجة الحرارة، فعند بدء الإنتاج فيبدأ الغاز، عند بدء الإنتاج، في الانفصال عن الزيت على هيئة فقاعات تندفع وتدفع الزيت نحو فتحات الآبار، ويتزايد معدل دفع الزيت إلى مدى معين، ثم يبدأ في التناقص التدريجي، ويتراوح ما ينتج من الزيت بين ٥، ٣٠% من محتوى مكمن البترول .

وفي المكامن البترولية التي يعلوها الغاز، يتمدد الغاز، مع بدء الإنتاج، ضاغطا على البترول ما يزيد من معدل الإنتاج، وبخاصة إذا احتوى الزيت على كميات من الغاز المذاب فيه، ويتناقص ضغط المكمن ببطء، كما أن نسبة الغاز إلى الزيت تزداد في الآبار التي تحفر في أعلى المكمن،

وتعتمد كمية المنتج من البترول على ضغط طبقة الغاز، وتقدر هذه الكمية بحوالي ٣٠-٤٠% من بترول المكمن.

ويوجد الماء تحت معظم مكامن البترول، متصلاً بالمياه السطحية أو جاريا في الطبقات الجوفية، أو ملامسا للزيت في أسفله أو في أطرافه، وعند بدء الإنتاج يزيح الماء البترول ليحل محله، ما يزيد من معدل الإنتاج لفترة أطول، وتكون نسبة الغاز إلى الزيت منخفضة، ولكن قد يجد الماء طريقة مع الزيت في المراحل الأخيرة لاستخراج البترول من المكمن. وتصل كمية المنتج من الزيت إلى ٣٥ - ٧٥% من إجمالي بترول المكمن.

أما في المكامن التي يعلو فيها الغاز الزيت وتوجد المياه أسفله، فإن الزيت يندفع في الآبار تحت تأثير الطاقتين العلوية للغاز والسفلية للماء، إلى جانب الطاقة الناتجة عن تمدد الغاز المذاب في البترول ، وبذلك تكون هذه المكامن الأكثر إنتاجاً للنفط من غيرها. وهناك مكامن خاصة بالغاز الطبيعي لا تحتوي على الزيت، ولكن الغازات قد تعلو الماء أو المكثفات، وتستخرج اعتمادا على طاقتها الذاتية. ويعد الغاز الطبيعي أكثر قدرة على التمدد والتحرك من الزيت، وقد يصل الإنتاج إلى حوالي ٨٠% من غاز المكمن.

ويجري التقدير الأولي لكمية البترول المتوقع إنتاجها، وهو ما يسمى "بالاحتياطي المبدئي"، وفي ضوء المعلومات الجيولوجية والجيوفيزيائية عن حجم التراكيب البنائية لمكامن البترول المرجحة وأنواعها، والافتراضات المحتملة لمسامية الصخور الخازنة ونفاذيتها، وبعد حفر آبار الاستكشاف، وتحديد معالم الحقل يمكن الوصول إلى التقدير التقريبي لكمية البترول في المكمن وهو "الاحتياطي المرجح أو المثبت". أما كميات البترول المنتج "أو النهائي" فهو المجموع الكلي لإنتاج آبار الحقل حتى توقف الإنتاج.

ومع مراعاة اعتبارات الجدوى الاقتصادية تستخدم كافة الوسائل والطرق الملائمة لإنتاج أكبر كمية ممكنة من البترول، سواء من خلال الإنتاج الأولى أم بواسطة الحقن. وفي مرحلة الإنتاج الأولى يتدفق البترول نحو فتحات الآبار بفضل الطاقة الذاتية داخل المكمن، ومع تناقص الضغط الطبيعي وانخفاض معدل الإنتاج تحقن المكامن بمواد مختلفة لزيادة الضغط فيها، أو المحافظة عليه، بهدف إنتاج أكبر قدر ممكن من البترول المتبقي، فإذا حقن البئر بالماء أو الغاز سمي بالإنتاج الثانوي، أما إذا اتبعت طريقة الإنتاج المعزز فيحقن بالبخار أو إحلال البوليمرات وكذلك الاحتراق الداخلي.

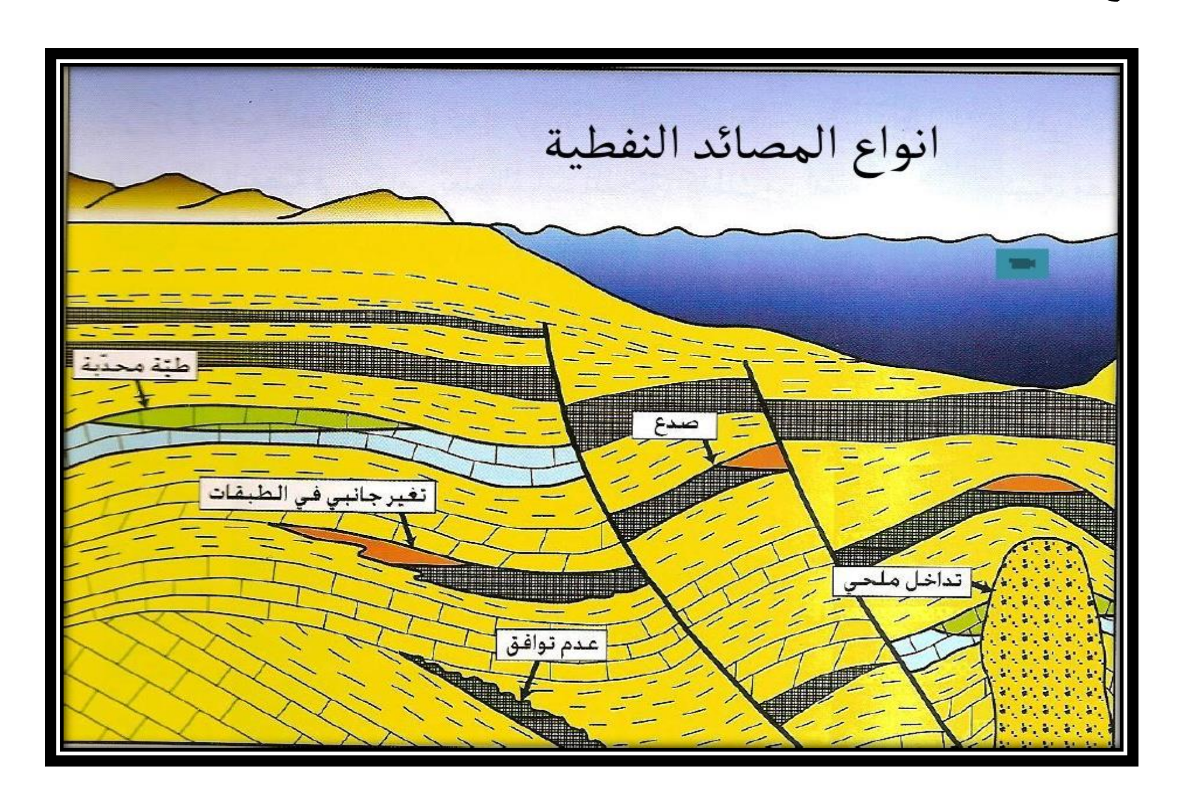
ثالثاً: مصائد البترول :

المصيدة هي نسق هندسي للطبقات الرسوبية يسمح للبترول أو الغاز أو لكليهما بالتجمع فيه بكميات اقتصادية، ويحول دون هروبهما منها، ويتخذ هذا النسق الطبقي الهندسي أشكالاً عدة، لكن تظل السمة الرئيسية للمصيدة هي وجود صخر مسامي مغطى بصخور حابسة غير منفذة. ويعد الماء عاملاً أساسياً في توجيه البترول والغاز إلى المصيدة في أغلب الحالات، مثلما يساعد

في إزاحة البترول والغاز إلى فتحات الآبار في مرحلة الإنتاج، وهكذا تكون المصيدة بؤرة تبادل نشط للسوائل.

ويسمى الجزء المنتج من مصيدة البترول بنطاق العطاء Pay zone، ويختلف سمكه من مترين في بعض حقول ولاية تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية إلى مئات الأمتار في حقول بحر الشمال والشرق الأوسط. ومع ذلك ليس ضروريا أن تنتج كل كمية البترول في "نطاق العطاء الإجمالي"، ولذا نميز بينه وبين "العطاء الصافي" الذي يمثل السمك العمودي التراكمي للمكمن المنتج للبترول. وفي تطوير أي مكمن بترولي لا بد من تحديد نسبة المنتج الصافي إلى المنتج الإجمالي في الحقل. ويمكن إنتاج البترول من خط مستوى Spill Plane حتى قرب الهامة Crest وهي أعلى نقطة في المصيدة .

ومن الممكن أن تحتوي المصيدة على البترول أو الغاز أو كليهما، ويمثل سطح تماس البترول والماء Oil Water Contact OWC أعمق مستوى لإنتاج البترول، بينما يعتبر سطح تماس الغاز والبترول Gas Oil Contact-GOC أدنى مستوى لإنتاج الغاز، ومن الضروري تحديد هذين السطحين بدقة قبل حساب احتياطي البترول والغاز الطبيعي في المكمن وتقدير معدل الإنتاج.

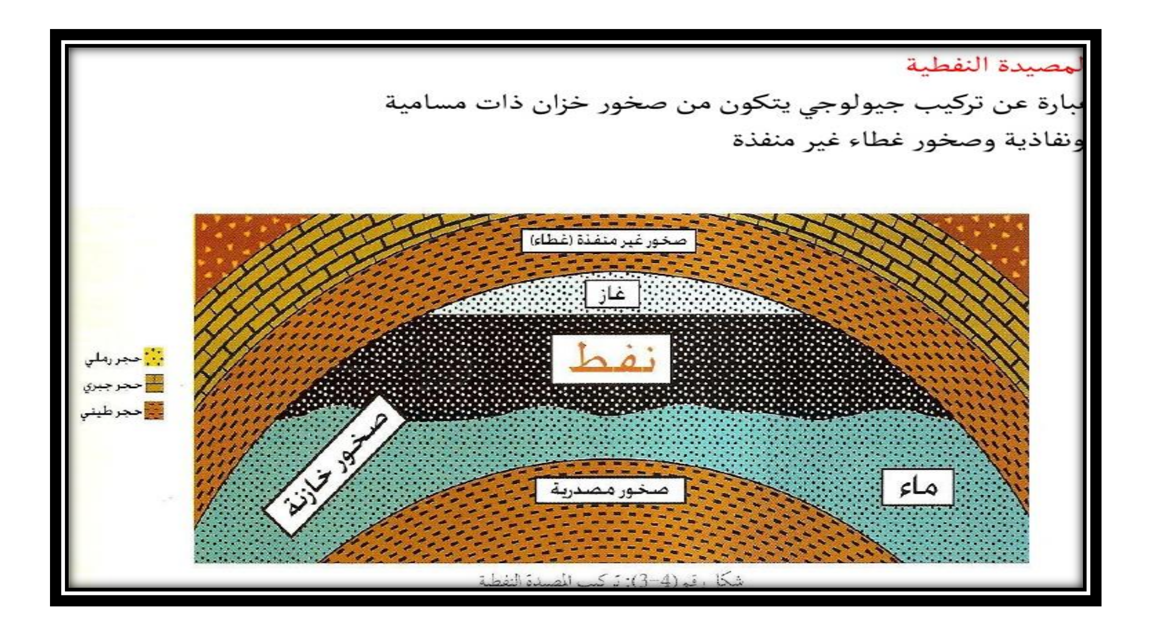


ومن أفضل وأحدث تصنيفات مصائد البترول ذات الجدوى الاقتصادية ما قدمه سيلي عام ١٩٨٥. فإذا بدأنا بالمصائد التركيبية التي تنشأ بفعل تغييرات تكتونية أو بنائية Tectonic للصخور الرسوبية نجدها تشمل مصائد الطي المحدبة، ومصائد الصدوع. وتعد مصائد الطي

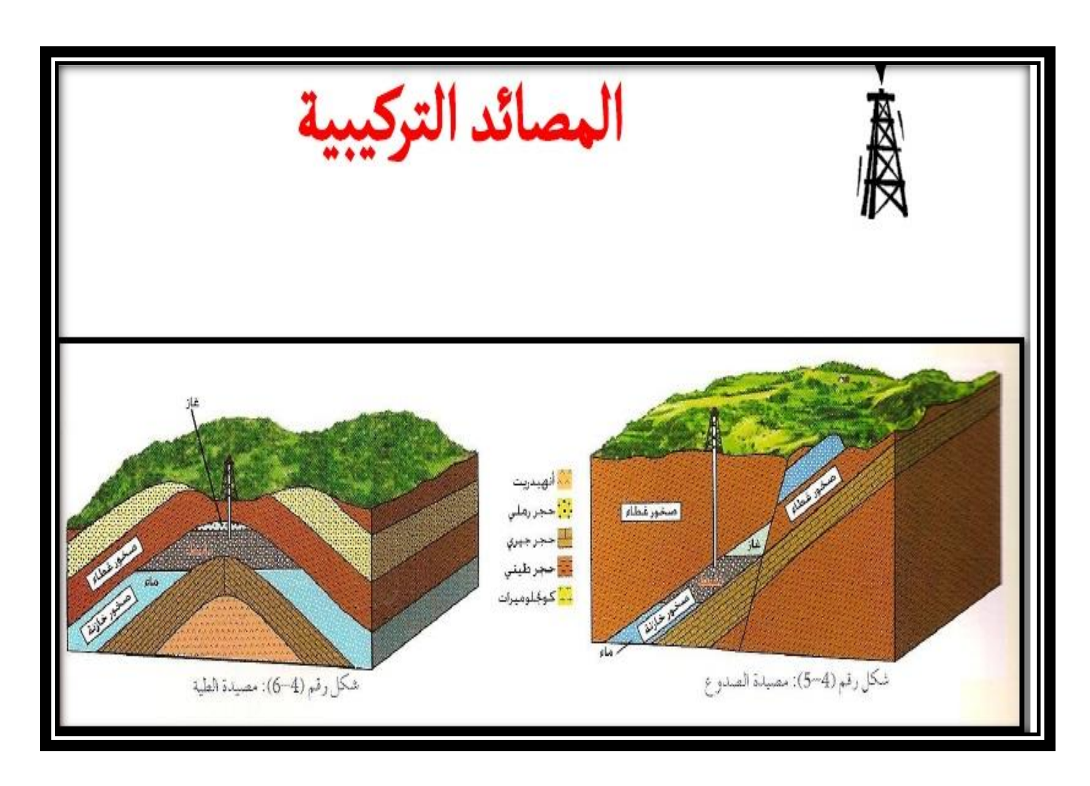
المحدبة التضاعطية أكثر أنواع المصائد شيوعاً ، وتتكون بفعل تقاصر قشرة الأرض Crustal Shortening، ومن أمثلتها حقول البترول في جنوب غرب إيران، التي تشمل ١٦ حقلا عملاقا عند سفوح جبال زاجروس بالقرب من منطقة اندساس الصفيحة العربية تحت الصفيحة الإيرانية، وكذلك مصائد عديدة في الجانب الغربي من الخليج العربي، تتميز بأجناب ذات انحدار خفيف للطيات المحدبة العريضة، وتنتشر في حقول البترول شرقي المملكة العربية السعودية، وأهمها حقول الغوار، أبقيق، السفانية، والخفجي. أما مصائد الطي المحدبة المحكمة فقد تكونت بفعل استجابة الطبقات الرسوبية لشد قشرة الأرض Crustal Tension ما أدي إلى تشكيل حوض رسوبي، به طيات محدبة فوق مرتفعات تكونت في العمق Deep Seated Horsts.

انواع المصائد والتراكيب المسببة لها

نوعُ المصيدةِ حسبَ النشأةِ	التراكيبُ الأساسيّةُ والمصاحبةُ
المصائدُ التركيبيةُ (Structural Traps)	• الطياتُ (folds). • الصدوعُ (faults). • القبابُ الملحيةُ. • التداخلاتُ الناريّةُ.
المصائدُ الترسيبية (ليثولوجيّة) (Lithologic Traps)	• التغيرُ الجانبيُّ الترسيبيُّ. • العدساتُ الرمليّةُ. • الشعابُ المرجانيّةُ
المصائدُ الإستراتجرافيةُ (Stratigraphic Traps)	• عدمُ التوافقِ (unconformity)
المصائدُ المركبّةُ (Combination Traps)	• طياتٌ بها عدساتٌ رمليّةٌ. • صدوعٌ لأسطحِ عدمِ توافقٍ. • أكثرُ من عنصرٍ تركيبيٍّ مختلفِ النشأةِ الجيولوجيةِ.



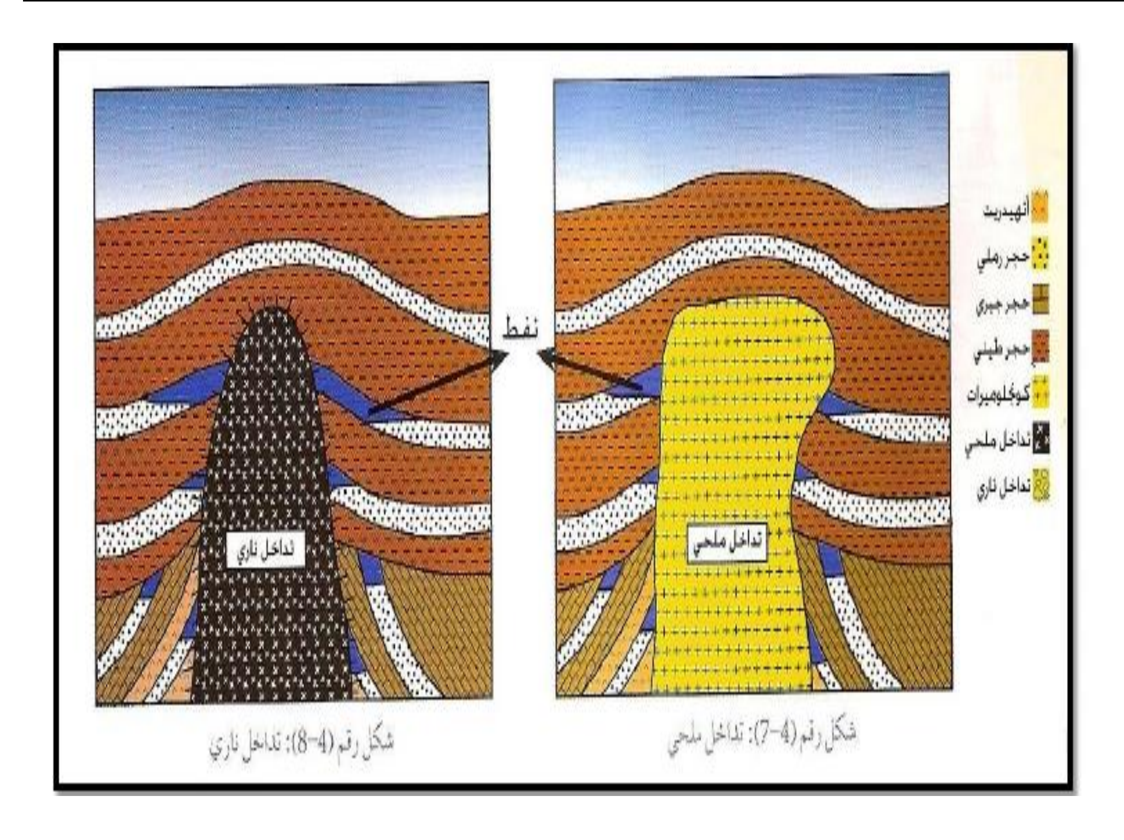
وتقوم الصدوع بدور مهم ومباشر في تكوين المصائد، عندما تؤدي إلى تغيير في ترتيب الطبقات، وتعترض طبقة غير مسامية وغير منفذة هجرة البترول "وتصطاده" ، كما قد يكون للصدع دور غير مباشر في اصطياد البترول، بأن يشترك في ذلك مع ظواهر تركيبية أخرى، مثل الطي أو تغيير النفاذية. وقد يكون سطح تماس الغاز والبترول متصلا في المصيدة المحدبة المتأثرة ببعض الصدوع، وعندئذ يكون عنصر الاصطياد الرئيسي هو الطي، أو غير متصل فيكون الصدع هو العامل الرئيسي في تكوين المصيدة، أو تكون الطية المحدبة قد تأثرت بالصدع فانفصل التجمع البترولي بها إلى أجزاء.



شكل رقم (4-6): مصيدة الطية

شكل رقم (4-5): مصيدة الصدوع

وتتكون مصائد الاختراق القبوي نتيجة تحرك كتل من الملح أو الطين إلى أعلى، ويندر وجود القباب الطينية، لكن القباب الملحية ظاهرة جيولوجية منتشرة، وهي تتكون نتيجة اختلاف كثافتي الملح والطبقة الرسوبية التي تعلوه، فالملح أقل كثافة، ومن ثم يندفع إلى أعلى، ويتسبب في "تقبب" الطبقات الرسوبية التي تعلوه، فإذا وجد بها البترول فإنه يتحرك نحو الجوانب الخارجية للطبقة الملحية، وينحصر بين الطبقات الرسوبية من جهة والقبة الملحية من جهة أخرى. ويؤدي النمو غير المنتظم للقباب الملحية إلى تكوين مصائد متعددة متتالية ومتنوعة، كما في حقل الدمام. وأهم أسباب تكوين مصائد القباب الملحية هي اندفاع غازات مصاحبة لنشاط بركاني، ينتج عنها ترسيب الأملاح من المحاليل المائية، ثم اندفاع الكتل الملحية إلى أعلى، أو صعود المحاليل الملحية الحارة إلى أعلى من خلال ثغرات ضعيفة في الطبقات، ثم انخفاض درجات حرارتها تدريجيا مسببة ترسيب الملح، وتزايد كميته وحجمه تدريجيا، نتيجة استمرار عمليات التبريد والتبلر Crystallization، ما يؤدي إلى اختراق القباب الملحية للطبقات الرسوبية التي تعلوها وتوغلها فيها.

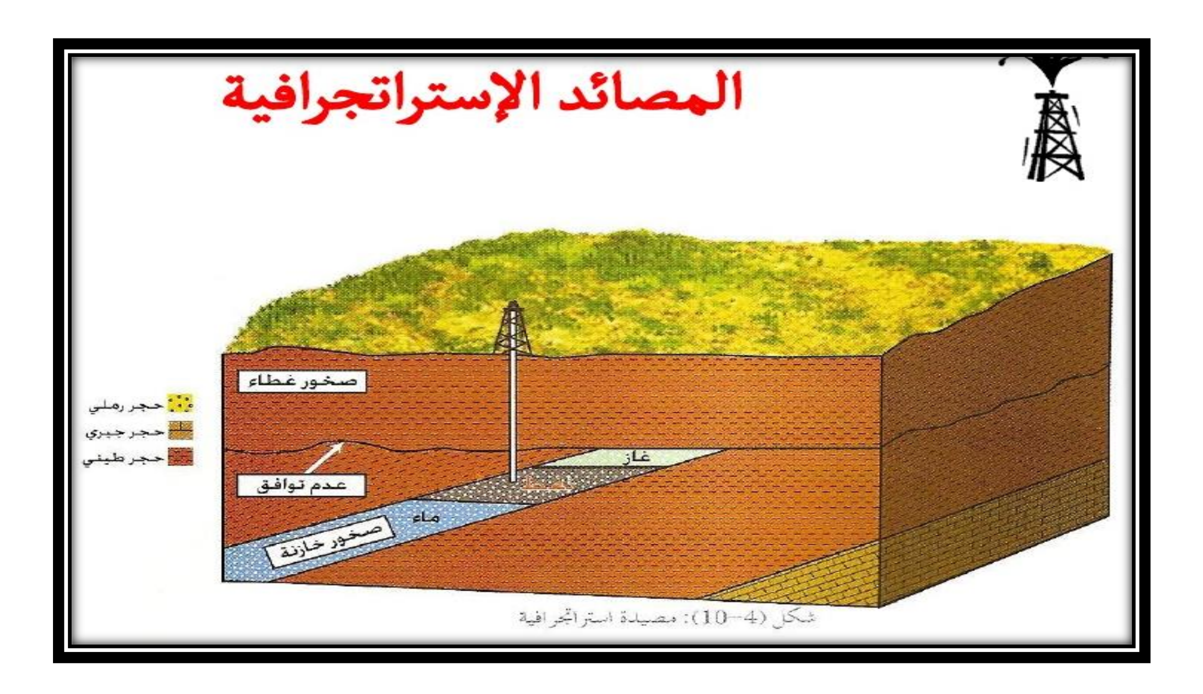


شكل رقم (4-7): تداخل ملحي

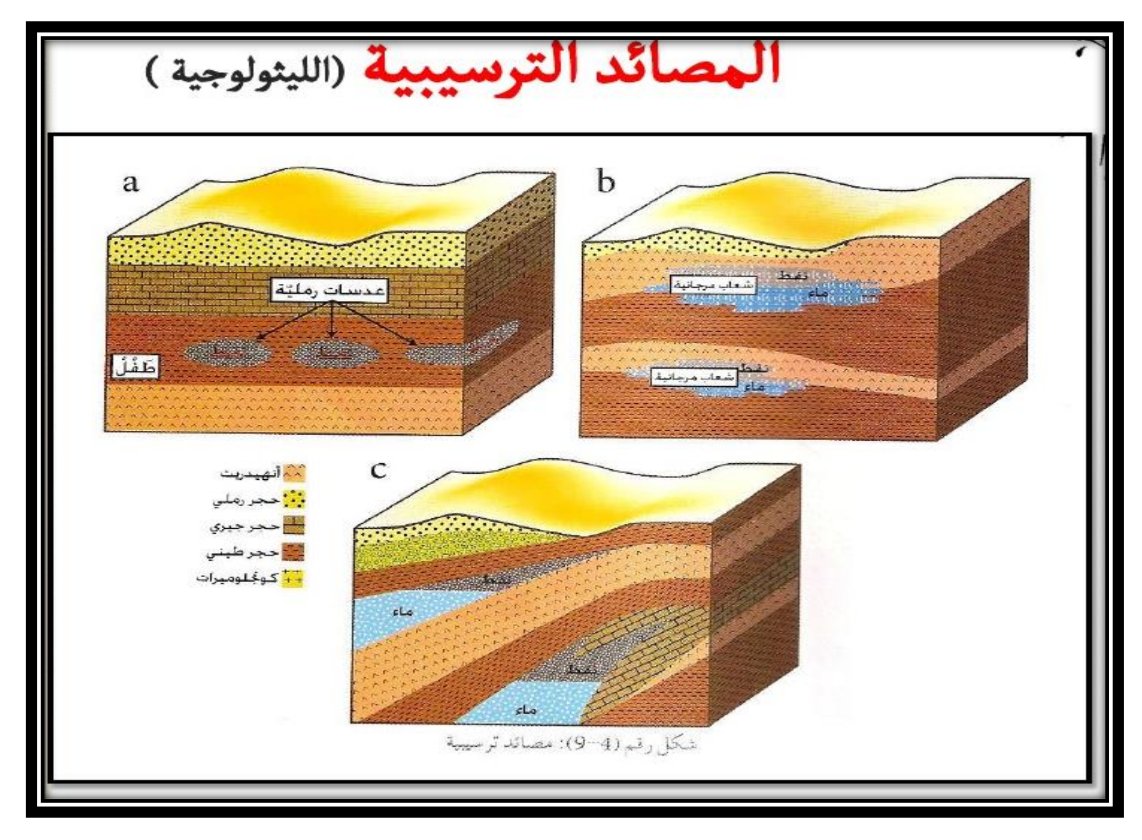
شكل رقم (4-8): تداخل ناري

والنوع الثالث من مصائد البترول هو الطبقية منها، التي تتكون نتيجة تغييرات جانبية من حيث السماحية والنفاذية في صخور المكمن أو عدم استمراريتها، وفي هذا النوع يكون تماس الصخور المختلفة حاداً أو تدريجيا ومتوافقا. ومن أهم المصائد الطبقية تلك التي يحاط فيها صخر المكمن المنفذ بآخر غير منفذ مثل الطفل الصفحي، وبذلك يكون التغير في النفاذية أساس تكوين المصيدة.

وتقسم المصائد الطبقية إلى مصائد غير مصاحبة لسطح عدم توافق، وأخرى مصاحبة لسطح عدم توافق، وهناك نوعان من المصائد البترولية غير المصاحبة لسطح عدم توافق، هما المصائد الترسيبية والمصائد البين تكوينية. والمصائد الترسيبية بدورها إما مصائد ترقيق Pinch-out، أو مصائد شعب مرجانية. فعندما يتضاءل سمك قطاع سميك من صخور ذات مسامية ونفاذية، ويدمج هذا القطاع في صخر طيني غير منفذ يتم اصطياد البترول في الجزء المسامي والمنفذ من القطاع. وفي مصائد الشعاب المرجانية تحاط أحجار الجير المرجانية ذات المسامية والنفاذية بصخور غير منفذة، ومن الشعاب المرجانية أنواع مستديرة، وأخرى مستطيلة يبلغ طولها مئات الأميال، وعرضها بضعة أميال مثل حقل كركوك بشمال العراق.



شكل (4-10): مصيدة استراتجرافية



شكل رقم (4-9): مصائد ترسيبية

ومصائد القنوات Channels عبارة عن وسط بيئي لنقل الرمال على شكل قنوات طويلة ذات مسامية ونفاذية عالية، يتم اصطياد البترول والغاز فيها. أما مصائد الحواجز Barrier Bar Traps فهي كتل رملية أو من الزلط والحصى، وتظهر غالبا بشكل جزيرة على الشاطئ،

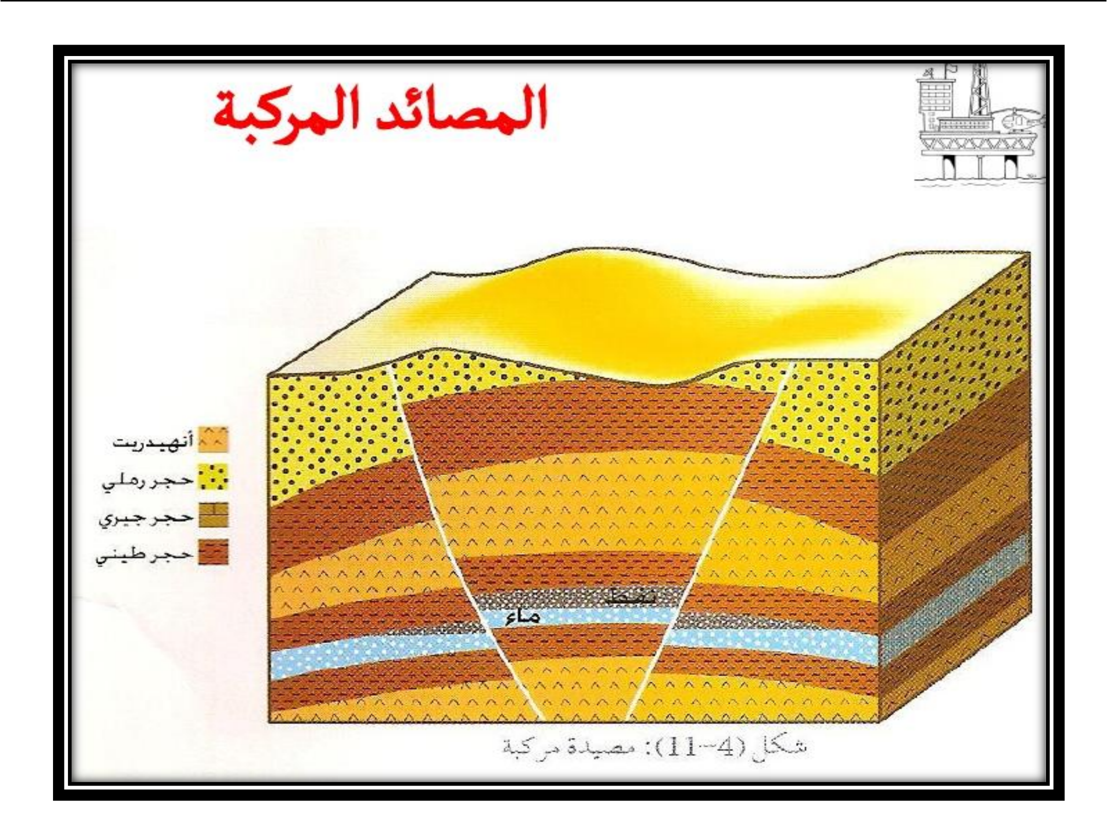
ورمالها غالباً نظيفة وجيدة التصنيف Well-sorted. وهناك حواجز رملية مطوقة بطين صفحي بحري، أو طين صفحي من بحيرات شاطئية، تكون مصائد نفطية.

ومن العمليات البين تكوينية دور السوائل في إذابة صخور المكمن لتكسبها مسامية ثانوية، أو دور المحاليل الغنية بالمعادن في عملية السمنتة Cementation، التي تكاد تؤدي إلى تدمير مسامية الخزان البترولي. ويمكن أن تؤدي هذه العمليات إلى تكوين مصيدة بترولية إذا اعترض نطاق مسمنت طريق بترول أو غاز يتحرك إلى أعلى في طبقة منفذة. كذلك يمكن اصطياد البترول أو الغاز في نطاق معين بسبب نشوء مسامية ثانوية في حيز محلي في صخور مسمنتة، وقد تتسبب عملية "التدلمت" Dolomitization في تكوين مصائد نفطية بين تكوينية غير منتظمة؛ لأن الدولوميت يشغل حيزا فراغيا أقل من الحجم الأصلي الذي كان يشغله الحجر الجيري.

أما المصائد المصاحبة لسطح عدم توافق فتنشأ نتيجة عمليات تآكل Erosion تؤدي إلى تكوين سطح عدم توافق يفصل بين صخور منفذة وصخور غير منفذة، وعندئذ يتم تكوين مصيدة البترول في الصخور المنفذة أعلى سطح عدم التوافق أو أسفله.

والنوع الرابع هو مصائد البترول الهيدروديناميكية حيث تقوم قوة الماء بدور أساسي في منع البترول من التحرك في اتجاه أعلى الميل في الطبقة الرسوبية، إذ يعترض الماء المتحرك هيدروديناميكيا في اتجاه أسفل الميل السوائل البترولية الصاعدة إلى أعلى عندما تكون القوة الهيدروديناميكية للماء أكبر من القوة الناتجة من قابلية طفو قطرات البترول في الماء Buoyancy، وبذلك يمنع الماء تحرك البترول لأعلى، ما يمكِّن من اصطياده دون الحاجة إلى وجود حاجز غير منفذ .

والنوع الخامس هو مصائد البترول المركبة التي تتكون من عنصر طبقي نشأ عن وجود حافة فاصلة بين طبقات منفذة وأخرى غير منفذة، وعنصر تركيبي نتج عن حركات بنائية للقشرة الأرضية تسمى بالحركات التكتونية. ومن أمثلتها اصطياد البترول في مواجهة صدعFault ، وهو عنصر تركيبي، في طبقة رملية أحاطت حوافها طبقة غير منفذة تمثل عنصرا طبقيا، ومصيدة طبقية مصاحبة لسطح عدم توافق تم طيها لاحقا. وتعطي المصائد المتعددة التي يواكب تكوينها نشوء القباب الملحية أمثلة لكل أنواع مصائد البترول من تركيبية أو طبقية أو مركبة.



شكل (4-11): مصيدة مركبة

ونشير أخيراً إلى تلك الأشكال الهندسية التي تمثل مصائد محتملة للغاز أو البترول ولكنها خاوية منهما، وأحيانا تعلوها أو تبطنها طبقات حاملة للمياه الجوفية خالية من آثار البترول. وقد يحدث ذلك نتيجة لاصطياد الرواسب البترولية قبل وصولها للمصائد الخاوية، أو لأنها لم تمر على تلك المصائد، أو لعدم توفر صخور مصدر مناسبة في أماكن وجود المصائد الخاوية.

يعتبر النفط من أهم مصادر الطاقة وأكثرها انتشارها ، وتوجد نظريتان توضحان كيف تكوّن النفط في جوف الأرض وهما:

النظرية العضوية :

وهي نظرية تفترض أن النفط قد تكوّن من مادة عضوية عبارة عن مواد مكوّنة من الهيدروجين والكربون ، وقد تكوّنت من النباتات والحيوانات التي كانت تعيش منذ ملايين السنين سواء أكانت على اليابسة أو البحار فعندما ماتت هذه الكائنات الدقيقة ترسبت في قاع البحار القديمة التي كانت تغطي مساحات شاسعة من الأراضي اليابسة وعلى مدى السنين تحللت تلك الكائنات وذلك بفعل الحرارة والضغط في جوف الأرض ليتكوّن النفط الخام وكانت من العوامل المساعدة هي أنواع من البكتريا والمواد المشعة .

أما النظرية الأخرى هي النظرية الغير عضوية :

هي تفترض أنه قد تم اتحاد بين عنصري الهيدروجين والكربون تحت ضغط وحرارة عاليين في أعماق الأرض .

مما أدى إلى تكوّن النفط والغاز الطبيعي ، ويوجد النفط في فجوات كثيرة من الصخور الرسوبية ويتكوّن النفط من نسب وزنية مختلفة لعدة عناصر هي (الكربون – الهيدروجين – الأوكسجين – النتروجين – الكبريت).

وقد بينت الأبحاث النظرية التي تمت في مناطق مختلفة في جميع أنحاء العالم أن تكوّن النفط في القشرة الأرضية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالصخور الرسوبية التي اكتشفت فيها أكثر من ٩٩,٩% من تراكمات النفط .

والنفط هو عبارة عن سائل أسود كثيف سريع الاشتعال ومكون من خليط من المركبات العضوية والتي تتكوّن أساساً من عنصري الكربون والهيدروجين وتعرف باسم الهيدروكربونات وتبلغ نسبة الهيدروكربونات في بعض أنواع النفط نحو ٥٠ % من تركيبه الكلي وقد تصل ٩٨. %

ويساهم النفط اليوم بحوالي ٣٩ % من استهلاك الطاقة العالمي وتحتوي منطقة الشرق الأوسط على أغنى مخزون للنفط في العالم .

وتعتبر المملكة العربية السعودية أكبر دولة في العالم تحتوي على أعلى نسبة من مخزون النفط في أراضيها . وتشير التوقعات إلى أن الإنتاج العالمي للنفط سوف يزداد خلال السنوات القادمة وذلك في حالة اكتشاف مكامن جديدة للبترول .وكذلك تطوير طرق حفر الآبار حيث أنه عادة يتم استخراج نحو ٤٠% من النفط والجزء الأكبر يظل داخل باطن الأرض وذلك لأنه يستعصي استخراجه.

ومن أهم أسباب انتشار النفط هو سهولة نقله وتحويله إلى مشتقات تتفاوت في خصائصها ، وكذلك من أهم أسباب انتشار النفط هو انخفاض سعره وتوفره في كثير من البلدان التي لا تستهلك إلا القليل منه . ونجد أن النفط من الثروات الطبيعية المحدودة والناضبة فنجد أنه يفسر تهافت الدول الصناعية المتقدمة على زيادة استيراده من الدول الناتجة والتي لم تكن تستهلك إلا كميات قليلة منه نظراً لمحدودية التنمية الصناعية لديها .

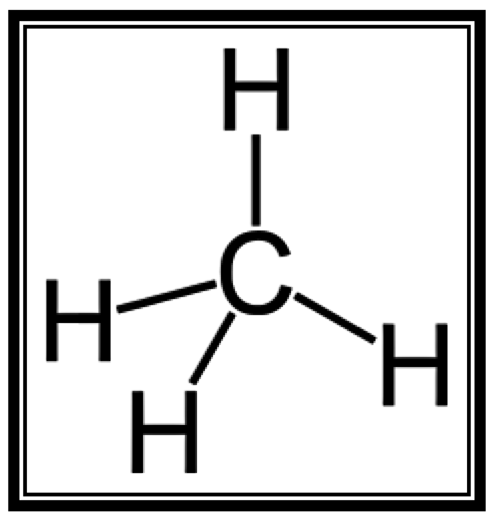
الغاز الطبيعى :

ماهو الغاز الطبيعى؟

الغاز الطبيعي، في حد ذاته، قد يعتبر الغاز موضوعا غير مسلى - إنه عديم اللون، و الشكل، ولا رائحة له في صورته النقية. إنه غير ممتع بالمرة - إلا أن الغاز الطبيعي هو قابل للاحتراق ، وعندما يحترق فإنه يعطي قدرا كبيرا من الطاقة. خلافا لبقية أنواع الوقود الحفري ، إلا أن الغاز الطبيعي هو هو أيضا نظيف وعند حرقه تنبعث منه مستويات أدنى من مركبات يحتمل أن تكون ضارة في الهواء. نحن بحاجة للطاقة باستمرار ، لتدفئة منازلنا ، وطهي طعامنا ، وتوليد الكهرباء لدينا. هذه هى حاجتنا من الطاقة ، ولذلك إرتقى الغاز الطبيعي لمثل هذا المستوى من الأهمية في مجتمعنا وفي حياتنا.

الغاز الطبيعي هو خليط من الغازات القابلة للاحتراق المواد الهيدروكربونية. في حين أن الغاز الطبيعي يتكون أساسا من الميثان ، كما يمكن أن تشمل الإيثان والبروبان والبوتان والبنتان. تكوين الغاز الطبيعي يمكن أن تتفاوت على نطاق واسع ، ولكن أدناه رسما بيانيا يبين التركيبة النموذجية للغاز الطبيعي قبل أن يتم صقلها

والغاز يتكوّن بنفس الطريقة التي يتكون فيها البترول وبنفس الظروف ، ويوجد الغاز في طبقات الصخور العميقة في باطن الأرض .



التركيب الجزيئي لمركب الميثان.

الغاز الطبيعي هو أحد مصادر الطاقة البديلة عن النفط من المحروقات عالية الكفاءة قليلة الكلفة قليلة الانبعاثات الملوثة للبيئة. الغاز الطبيعي مورد طاقة أوليّة مهمة للصناعة الكيماوية.

يتكون الغاز الطبيعى من العوالق ، وهي كائنات مجهرية تتضمن الطحالب والكائنات الأولية التي ماتت وتراكمت في طبقات المحيطات والأرض، وانضغطت البقايا تحت طبقات رسوبية. وعبر آلاف السنين قام الضغط والحرارة الناتجان عن الطبقات الرسوبية بتحويل هذه المواد العضوية إلى غاز طبيعى، ولا يختلف الغاز الطبيعى في تكوينه كثيراً عن أنواع الوقود الحفرى الأخرى مثل الفحم و البترول. وحيث أن البترول والغاز الطبيعى يتكونان في نفس الظروف الطبيعية، فإن هذين المركبين الهيدروكربونيين عادةً ما يتواجدان معاً في حقول تحت الأرض أو الماء، وعموماً الطبقات الرسوبية العضوية المدفونة في أعماق تتراوح بين ١٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ متر (عند درجات حرارة تتراوح بين ٦٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية) تنتج بترولاً ، بينما تلك المدفونة أعمق وعند درجات حرارة أعلى فإنها تنتج غاز طبيعى، وكلما زاد عمق المصدر كلما كان أكثر جفافاً (أى تقل نسبة المتكثفات في الغاز). بعد التكون التدريجى في القشرة الأرضية يتسرب الغاز الطبيعى والبترول ببطء إلى حفر صغيرة في الصخور المسامية القريبة التي تعمل كمستودعات لحفظ الخام، ولأن هذه الصخور تكون عادةً مملوءة بالمياه، فإن البترول والغاز الطبيعي – وكلاهما أخف من الماء وأقل كثافة من الصخور المحيطة – ينتقلان لأعلى عبر القشرة الأرضية لمسافات

طويلة أحياناً. في النهاية تُحبس بعض هذه المواد الهيدروكربونية المنتقلة لأعلى في طبقة لا مسامية (غير منفذة للماء) من الصخور تُعرف بـ صخور الغطاء (Cap Rock)، ولأن الغاز الطبيعى أخف من البترول فيقوم بتكوين طبقة فوق البترول تسمى غطاء الغاز (Gas Cap). ولا بد أن يصاحب البترول غاز يسمى بـ الغاز المصاحِب (Associated Gas)، كذلك تحتوى مناجم الفحم على كميات من الميثان – المُكوِن الرئيسى للغاز الطبيعى -، وفي طبقات الفحم الرسوبية يتشتت الميثان غالباً خلال مسام وشقوق المنجم، يسمى هذا النوع عادة بـ ميثان مناجم الفحم.

يستخرج الغاز الطبيعي من ابار شبيهة بآبار النفط. و يصنف الغاز الطبيعي إلى غاز مصاحب و غاز غير مصاحب. فإذا تواجد الغاز الطبيعي مع النفط في نفس الحقل سمي بالغاز المصاحب. و إذا كان الحقل يحتوي فقط الغاز الطبيعي دون نفط سمي الغاز الغير مصاحب. يوجد الكثير من تجمعات الغاز على مبعدة من الشاطئ ويتم نقل الغاز بالانابيب من منصات الإنتاج المشاطئة إلى نقطة تجميع على الشاطئ ومنها إلى معمل تكرير الغتز حيث ينقّى من الشوائب و المركبات الغير مرغوب فيها. و توجد حقول الغاز سواء في البحار أو اليابسة.

- <u>تصنيف الغازات الطبيعية:</u>

<u>تصنف العناصر الداخلة في تركيب الغازات الطبيعية تبعاً لحالتها الفيزيائية إلى ما يلي:</u>

١. الإيتان و البوتان و عبارة عن غازات حقيقية في الشروط النظامية .

٢. البروبان والبروبيلين و الأيزوبوتان والبوتان النظامي و البوتلين :عبارة عن أبخرة في الشروط النظامية، كما و عند ارتفاع الضغط توجد بحالة سائلة، وهي تتدرج عادة في عداد الغازات الهيدروكربونية المسيلة.

٣. المركبات الهيدروكربونية الأثقل من البوتان، ابتداء من الأيزوبنتان حيث توجد بحالة سائلة في الشروط النظامية وهي تدخل في تركيب قطفات النفط الثقيلة.أما المركبات الهيدروكربونية التي تشمل جزيئتها على (١٨) ذرة كربون أو أكثر و الواقعة في سلسلة واحدة فتوجد بحالة صلبة في الشروط النظامية.

<u>حقول الغاز الطبيعى فى مصر:</u>

- **<u>حقل غاز أبو ماضي</u>**: يعتبر هذا الحقل من أكبر الحقول في مصر و يقع شمال شرقي الدلتا و ينقل الغاز المنتج بواسطة خط أنابيب يربط بين الحقل و مدينة طلخا حيث يزود بالغاز مصنع السماد بها و كذلك ينقل الغاز إلي مدينة المحلة الكبري لتزويد مصانع الغزل و النسيج بها
- **<u>حقل أبو الغرانيق</u>** : يوجد هذا الحقل في الصحراء الغربية علي بعد ٣٠٠ كيلو من القاهرة ،و يربط هذا الحقل بمناطق الاستهلاك المختلفة خط أنابيب يصله بدهشور

مرورا بوحدة التقنية كما يربط هذا الحقل بمنطقة حلوان الصناعية كما يوجد خط أنابيب يربط منطقة حلوان بمدينة السويس لتزويد مصنع الأسمدة بالغاز الطبيعي و هذا الحقل يقوم أيضا بتزويد المناطق السكنية بالغاز الطبيعي و منها مناطق حلوان و المعادي و مدينة نصر

- **حقل أبو قير البحري** : يقع هذا الحقل علي بعد ١٨ كيلو داخل البحر المتوسط و يستخدم الغاز الناتج منه في إمداد مصنع الأسمدة بأبي قير بالغاز

بالإضافة إلى الحقول السابق ذكرها فقد تم اكتشاف مناطق أخرى شرق البحر الأبيض المتوسط تشمل شمال بورسعيد وبورفؤاد ودمياط ورأس البر وبلطيم وأيضا بالقرب من مرسي مطروح .

- استخراج الزيت:

أ- عندما يتم اكتشاف تجمع أو حقل بترولى نقوم بحفر آبار فى الأرض . وتستخدم عادة أبراج الحفر (ديريك) derrick الثابتة ، حيث تستعمل أنابيب حفر طويلة. وتستخدم الآن أيضا بعض بريمات الحفر drilling rigs المنقولة والتى يتم تحريكها باستمرار. وعندما يصل البئر إلي تجمع زيتى، يصعد الزيت إلى أعلى البئر بسبب قلة كثافته عن الماء أو بسبب ضغط الغاز المتمدد والموجود أعلى الزيت. ويقل ضغط الغاز تدريجيا حتى ينتهى، ويتم حينئذ ضخ الزيت من الآبار. وقد يتم ضخ الماء أو بخار الماء فى الآبار المجاورة لتساعد فى دفح الزيت لأعلى. ويتم فصل الزيت الخام فى مصفاة البترول إلي غاز طبيعى وجازولين (البنزين) وكيروسين وزيت تشحيم وزيت وقود وشحم وأسفلت وبارافين. وتشمل البتروكيماويات المصنعة من البترول الأصباغ والأسمدة والأدوية والمطاط الصناعى والمتفجرات والدهانات والمذيبات والألياف الصناعية واللداثن (البلاسيتك) المستخدمة فى عديد من المنتجات مثل أقراص الحاسبات المدمجة وأشرطة التسجيل وأكياس النفايات.

ونظر أ لصعوبة اكتشاف مزيد من الزيت، فقد امتد البحث عن البترول عموما إلي مناطق جديدة غير مطروقة، حيث ساهمت الأرصفة البحرية offshore platforms فى البحث عن البتروال فى رواسب الأرصفة القارية للمحيطات وأحيانا أبعد من ذلك. ويأتى أكثر من ربع إنتاج العالم من الزيت وحوالي حمس إنتاج العالم من الغاز الطبيعى من المناطق البحرية، على الرغم من أن الحفر فى المناطق البعيدة عن الشواطئ يكلف ستة أو سبعة أمثال الحفر على اليا بسة

ب- الخام الثقيل ورمال الزيت (الرمال البترولية) يعرف الخام الثقيل heavy crude بأنه بترول كثيف لزج ينساب من البئر بمعدل انسياب بطئ إلي الدرجة التى تجعله غير اقتصادى . ولذلك يستبعد الخام الثقيل من تقدير الاحتياطيات أو الموارد الطبيعية للزيت الحنفيف light oil الاقل لزوجة او الزيت العادى. وقد يتسبب دفع بخار الماء أو المذيبات فى الآبار فى سرعة انسياب الخام الثقيل . واذا تم استخراجه، فإن الخام الثقيل يمكين تكريره إلي جازولين (بنزين) ومنتجات أخرى عديدة، مثله مثل الزيت الخفيف. ومعظم الزيت فى كاليفورنيا هو من الخام الثقل.

ورمال الزيت oil sands (الرمال البترولية أو رمال القطران tar sands) هي رواسب رمال أو حجر رملى تلتحم حبيباتها بالزفت . والزفت asphalt هو مادة صلبة، ولذلك فان رمال الزيت تستخرج غالبا من مناجم بدلا من حفر آبار خلاها،على الرغم من أن تقنيات تخفيض لزوجة الخام الثقيل يمكن تطبيقها أيضا على رمال الزيت.

وأصل الخام الثقيل ورمال .لزيت غير معروف حتى الأن. وربما تكون قد تكونت من الزيت العادى نتيجة فقد المكونات الخفيفة نتيجة البخر أو أى عمليات أخرى . وقد يتسرب الزيت من رمال الزيت أو الزفت إلى سطح الأرض نتيجة البخر البطئ. ومن ناحية أخرى فقد تتواجد بعض رمال الزيت والخام الثقيل تحت سطح الأرض عند أعماق تصل إلي ٤٠٠٠ متر.وتحتوى معظم هذه الخامات على تركيزات عالية من الكبريت وبعض الفلزات مثل النيكل والفاناديوم أكثر من تلك الموجودة فى الزيت العادى ، وذلك قد يرجع إلي أن الخام الثقيل ورمال الزيت لها أصل محتلف عن الزيت الخفيف.

ج. طفل الزيت:

طفل الزيت oil shale هو طفل أسود أو بنى يحتوى على نسبة عالية من مادة عضوية صلبة غير قابلة للذوبان تعرف بالكيروجين kerogen يستخرج الزيت منها بالتقطير . وأفضل طفل زيت يوجد فى الولايات المتحدة فى متكون جوين ريفر Green River Formation الذى يغطى أكثر من ٤٠٠٠٠ كم٢ فى كولورادو وومينيج ويوتا حيث يصل سمك الرواسب إلي حوالى ٦٥٠ مترا . وقد تكون طفل الزيت الذى يحتوى على عديد من حفريات هياكل الأسماك من طين ترسب على قاع بحيرات ضحلة وكبيرة خلال حين الإيوسين. ويرجح أصل المادة العضوية إلي طحالب وكائنات عضوية أخرى عاشت فى البحيرات.

ويتم استخراج الزيت من طفل الزيت فى مصانع التقطير، إلا ان السعر المنخفض للبترول فى بعض الأوقات يجعل استخراج طفل الزيت غير اقتصادى . وقد يسبب استخراج طفل الزيت من المناجم مشكلات بيئية، حيث يتمدد الطفل أثناء التقطير فيشغل منطقة من الأرض يكون استصلاحها مشكلة، ولذا يكون من الأفضل تجميع الطفل المستهلك فى الوديان وكبسه . فلابد من توافر كمية كبيرة من الماء لعمليتى التقطير والاستصلاح، حيث يظل الإمداد بالمياه مشكلة ، خاصة فى المناطق القاحلة.

وقد تساعد التقنيات الحديثة فى استخراج الزيت فى مكانه دون نقل الطفل إلي سطح الأرض، فى حل بعض المشكلات وتقليل الماء المستخدم . ومن الممكن أن يتم حرق طفل الزيت الذى تتخلله الشقوق فى حفر ضخمة تحت سطح الأرض . وتتسبب الحرارة فى فصل معظم الزيت من الصخور، حيث يمكن تجميع الزيت كسائل . ويلاحظ أن الحرائق قد يكون من الصعب التحكم فيها، كما أنها تؤثر فى مستويات المياه الأرضية . وهناك اقتراح آخر يشمل تسخين الطفل

بواسطة موجات الراديو أو الموجات الدقيقة جدا microwaves لفصل الزيت السائل من الصخر .

الطاقة النوويّة :

تعتبر الطاقة النوويّة في الوقت الحالي من أهم مصادر الطاقة المعروفة في العالم والتي أصبحت مصدر القوّة ، والتي توصّل لها العلماء في أواخر خمسين سنة من الوقت الحالي ، والتي يمكن إيجاد هذه الطاقة في مصادر اليورانيوم والبلوتونيوم والتي تستخدم في توليد الكهرباء وفي صناعة الأسلحة الفتاكة .

مصادر الطاقة المتجددة وهي مصادر طبيعية دائمة ولا تنتهى ومتوفرة في الطبيعة ومتجددة باستمرار . وباستغلال مصادر الطاقة المتجددة يمكننا الإستفادة من الطاقات الغير المتجددة في الصناعات البترو كيماوية الهامة بد لا من حرقها كوقود وهدرها ، لذلك يمكن اعتبار هذين النوعين من الطاقة مكملين لبعضهما البعض في خدمة البشرية .



محطات الطاقه النوويه.

اليورانيوم:

يوجد اليورانيوم - المستخدم فى المفاعلات النووية -فى معدن البتشبلند pitchblende وهو أكسيد يورانيوم أسود يوجد فى العروق الحرمائية وفى غيرها، أو فى معدن الكارنوتيت carnotite الأصفر، وهو أكسيد مائى معقد يوجد على هيئة قشور فى الصخور الرسوبية. وينقل الماء الأرضي (الجوفى) أكاسيد اليورانيوم العالية الذوبان فى الماء بسهولة. وقد تختزل المادة

العضوية اليورانيوم مما يجعله غير قابل للذوبان نسبيا، ولذلك يرسب اليورا نيو م عندما يصاحب المواد العضوية.

اليورانيوم هو عنصر كيميائي يرمز له بحرف **U** وعدده الذري هو ٩٢. وهو فلز لونه أبيض يميل إلى الفضي يقع ضمن سلسلة الأكتينيدات في الجدول الدوري. تبدو القطعة الصافية منه قريبة من معدن الفضة أو الفولاذ ولكنها ثقيلة جداً نسبة إلى حجمها. تحوى ذرة اليورانيوم ٩٢ بروتون و ٩٢ إلكترون، منها ٦ إلكترونات تقع في أغلفة التكافؤ. يعتبر اليورانيوم عنصرا متحللا ذو نشاط إشعاعي واهن، وذلك لأن كل نظائره غير مستقرة في الطبيعة (تتراوح فترة عمر النصف لنظائر اليورانيوم الطبيعية الستة بين ٦٩ سنة و٤,٥ مليار سنة، بدءا من يورانيوم-٢٣٣ وحتى يورانيوم-٢٣٨). أكثر نظائر اليورانيوم شيوعا هو يورانيوم-٢٣٨ (الذي يحوى ١٤٦ نيوترونا ويمثل ما يقرب من ٩٩,٣٪ من اليورانيوم المتواجد في الطبيعة) ويورانيوم-٢٣٥ (الذي يحوي ١٤٣ نيوترونا، وهو يمثل ٠,٧٪ وهى النسبة المتبقية من العنصر الطبيعي). يحتل اليورانيوم المركز الثاني بعد البلوتونيوم في العناصر ذات الكتلة الذرية الأعلي (أو الأثقل وزنا) والتي تواجدت في الطبيعة بصورة ابتدائية. وتبلغ كثافة اليورانيوم نحو ١٩,١ جرام /سنتيمتر مكعب في درجة حرارة الغرفة، أي أن ١ متر مكعب من اليورانيوم يزن نحو ١٩,١ طنا، وهو بذلك أعلى كثافة من الرصاص بحوالي ٧٠٪، ولكنه أقل بقليل من الذهب أو التنغستن. يتواجد اليورانيوم طبيعيا في التراب والصخور والماء بتركيزات منخفضة تصل لبضعة أجزاء لكل مليون، ويتم استخلاصه تجاريا من المعادن الحاوية له مثل اليورانينيت.

اليورانيوم في الطبيعة يتواجد في صورة يورانيوم-٢٣٨ (% ٩٩,٢٧٣٩–٩٩,٢٧٥٢)، ويورانيوم-٢٣٥ (% ٠,٧١٩٨–٠,٧٢٠٢)، وكمية صغيرة جدا من اليورانيوم-٢٣٤ (% ٠,٠٠٥٠–٠,٠٠٥٩). يضمحل اليورانيوم ببطء عن طريق إصدار جسيمات ألفا، ويبلغ عمر النصف لليورانيوم-٢٣٨ حوالي ٤,٤٧ مليار سنة، ويبلغ لليورانيوم-٢٣٥ حوالي ٧٠٤ مليون سنة، مما يجعله مفيدا في تأريخ عمر الأرض.

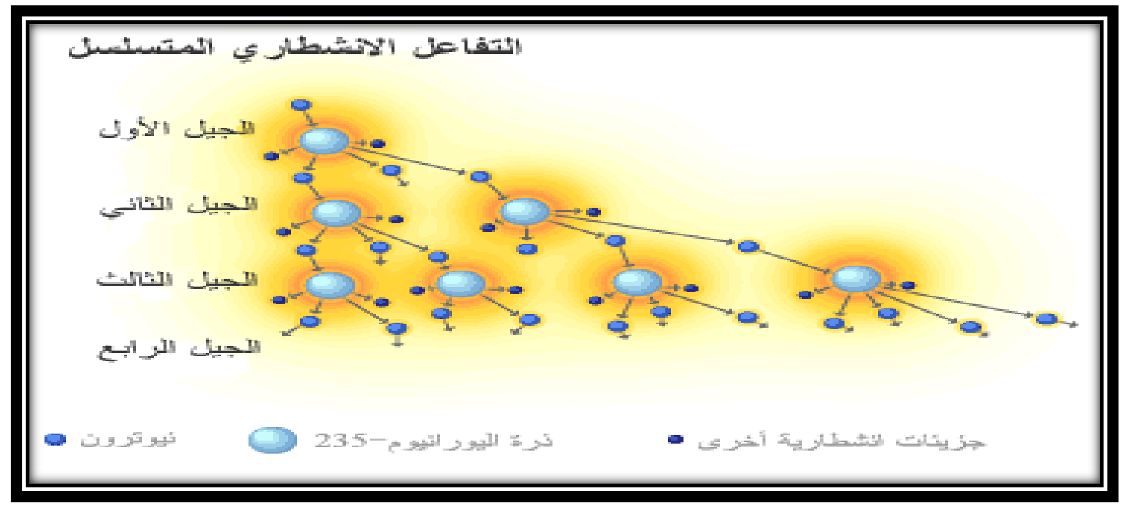
تقوم العديد من الاستخدامات المعاصرة لليورانيوم على استغلال خواصه النووية الفريدة. إذ يتميز يورانيوم-٢٣٥ بأنه النظير الانشطاري الوحيد الذى يمكن العثور عليه في الطبيعة (يمكن حثه على الانشطار بواسطة نيوترونات حرارية منخفضة الطاقة مما يجعله قادرا على ضمان استمرار سلسلة التفاعل النووي). أما اليورانيوم-٢٣٨ فهو قابل للانشطار بواسطة النيوترونات السريعة، وهو أيضا مادة خصيبة، وهذا يعني أنه يمكن تحويله لبلوتونيوم-٢٣٩ انشطاري في المفاعلات النووية. كما يمكن انتاج نظير انشطاري آخر وهو اليورانيوم-٢٣٣ من الثوريوم الطبيعي الذى هو أيضا ذو أهمية في مجال التكنولوجيا النووية. بينما تكون احتمالية حدوث انشطار تلقائي أو حتى انشطار مستحدث بواسطة النيوترونات السريعة لليورانيوم-٢٣٨ صغيرة فان اليورانيوم-٢٣٥ وبدرجة أقل اليورانيوم-٢٣٣ لهما "مقطع نووي" انشطاري أعلى من ذلك

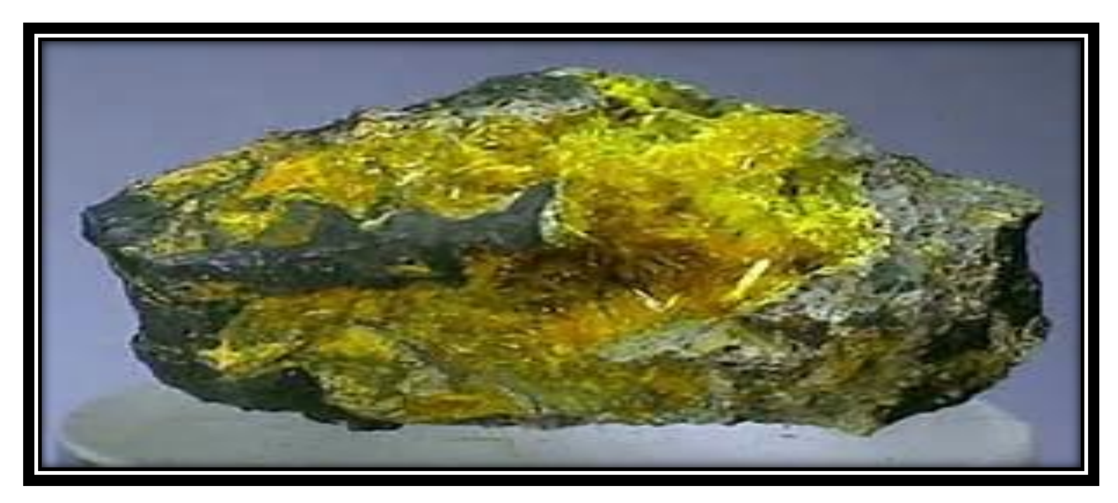
بكثير بواسطة النيوترونات البطيئة. لحصر الصورة بشكل واف، هذه النظائر (يورانيوم-٢٣٥ ويورانيوم-٢٣٣) تكفل بان يتكون تفاعل نووي متسلسل مستدام. وهذا هو ما يولد الحرارة في مفاعلات الطاقة النووية، وأيضا ينتج مواد انشطارية تستخدم في صناعة الأسلحة النووية. ويستخدم اليورانيوم المنضب ($U^{٢٣٨}$) في صناعة القذائف الثاقبة بالطاقة الحركية وفي تدريع المركبات (تغطيتها بصفائح مدرعة).

يستخدم اليورانيوم كمادة مُلَوِّنة في زجاج اليورانيوم لإنتاج أشكال تتنوع من الأحمر-البرتقالي إلى الأصفر. كما كان يستخدم في التلوين والتظليل في التصوير الفوتوغرافي المبكر. يعود فضل اكتشاف اليورانيوم في معدن "خَلْطَةُ القار" أو البيتشبلند الأسود اللامع في عام ١٧٨٩ إلى الكيميائي الألماني مارتن كلابروث، والذي قام بتسمية العنصر الجديد "أورانوس" على غرار أورانوس الكوكب. أول من قام بعزل الفلز عن الخليط الُمركب هو الكيميائي الفرنسي أوجين-ملكيور بليجوت ويرجع اكتشاف خصائصه المشعة في العام ١٨٩٦ إلى الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل. قادت الأبحاث التى بدأها الفزيائي إنريكو فيرمي وغيره، مثل الفزيائي روبرت أوبنهايمر في العام ١٩٣٤ إلى استخدام اليورانيوم كوقود في صناعة الطاقة النووية وفي صناعة قنبلة ليتل بوي أو الولد الصغير؛ أول سلاح نووي يستخدم في الحرب العالمية الثانية. وتلا ذلك سباق تسلح نووي بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي خلال حقبة الحرب الباردة نتج عنه عشرات الآلاف من الأسلحة النووية التي استُخدِم فيها معدن اليورانيوم و البلوتونيوم-٢٣٩ المشتق من اليورانيوم. يعد تأمين تلك الأسلحة وموادها الانشطارية في أعقاب تفكك الاتحاد السوفيتي في عام ١٩٩١ مصدرا لقلق متواصل حول صحة وسلامة عامة الناس. انظر الانتشار النووي.



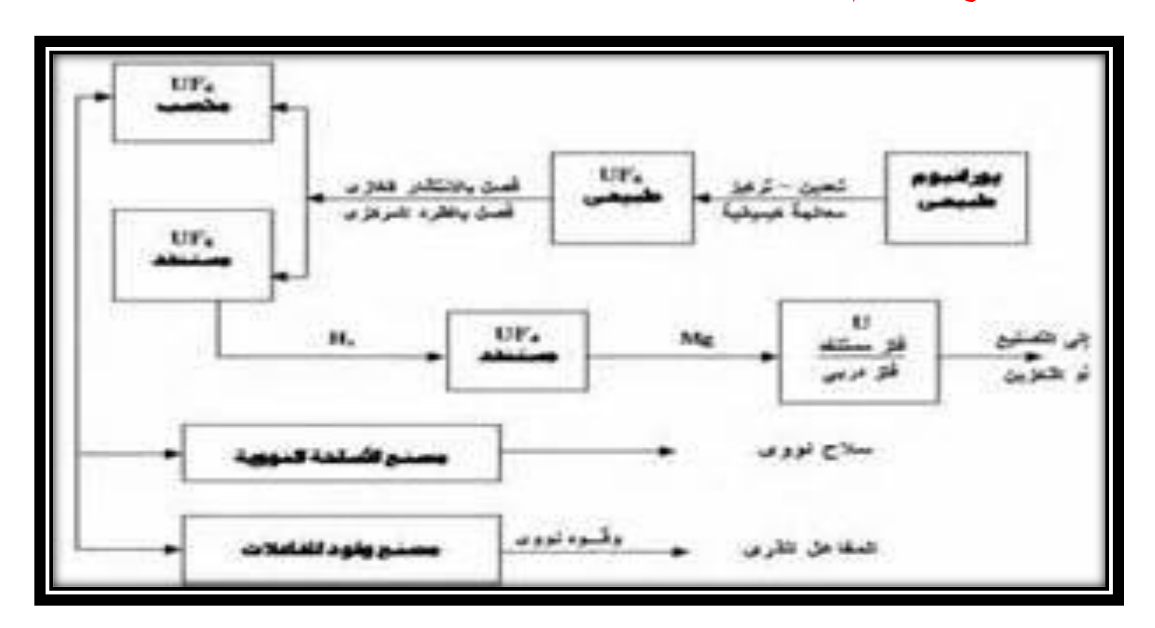


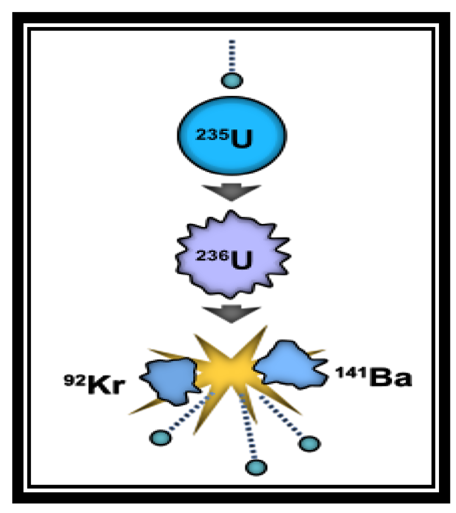

التفاعل الانشطاري المتسلسل
الجيل الأول
الجيل الثاني
الجيل الثالث
الجيل الرابع
نيوترون
ذرة اليورانيوم-235
جزيئات انشطارية أخرى





استخراج اليورانيوم من صخور الفوسفات





عملية الأنشطار النووي لليورانيوم

أهم النظائر:

و له أربعة نظائر هي يورانيوم-٢٣٥ ويورانيوم-٢٣٤ ويورانيوم-٢٣٣ ويورانيوم-٢٣٨، وتوجد هذه النظائر متلازمة في الطبيعة، ،أغلبها يورانيوم-٢٣٨ بنسبة ٩٧%.

- (نظير ذري ٢٣٥) وهو قابل للانشطار (fissile)، حيث يعطي هذا النظير بالانشطار كميات هائلة من الطاقة، وهو لا ينشطر تلقائيا، ولكن عند تعرضه لتيار من النيوترونات يتحول إلى بلوتونيوم ٢٣٩، الذي له خاصية الانشطار التلقائي، ويتواجد في خام اليورانيوم بنسبه صغيره ٠,٧ بالمائة ويستخدم في المفاعلات النووية وتصنع منه القنابل الذرية ويعمل كبادئ للقنبلة الهيدروجينية.
- (نظير ذري ٢٣٨) ويتواجد في الخام بنسبة كبيره ٩٩,٣ وهو غير قابل للانشطار (non fissile) وهو مايتم تخصيبه للاستخدام في المفاعلات النووية ويستخدم في الدراسات والتشخيص ويستعمل أيضاً في تحسين الزراعة والعلاج الكيماوي ويستخدم في تتبع وصول الدواء لأماكنه داخل الجسم الحي. ويستخدم في المفاعلات المولدة للوقود النووي breeder reactor.
- (نظير ذري ٢٣٣) قابل أيضا للانشطار بالنوترونات ويمكن استخدامه في المفاعلات الذرية التي تعمل بغاز الهيليوم المولدة للحرارة العالية Thermal nuclear reactor. (نظير ذري ٢٣٤) ويتواجد كشوائب داخل الخام.

يورانيوم مخصب:



أجهزة الطرد المركزي في أحد المعامل بالولايات المتحدة الأمريكية.

اليورانيوم المخصب هو نوع من اليورانيوم التي تكون فيه نسبة يورانيوم-٢٣٥ كانت قد تمت زيادتها من خلال عملية فصل نظائر. اليورانيوم الطبيعي هى ٩٩,٢٨٤٪ U^{238} نظير، U^{235} فقط

تشكل حوالي ٠,٧١١٪ من وزنه. U^{235} هو فقط نوية موجودة في الطبيعة (في أي كمية ملموسة) هذه مادة انشطارية مع حرارة النيوترون.

اليورانيوم المخصب هو عنصر حاسم لكلا من محطات توليد الطاقة النووية المدنية والعسكرية لإنتاج سلاح نووي . و الوكالة الدولية للطاقة الذرية لمحاولات رصد ومراقبة إمدادات اليورانيوم المخصب والعمليات التى تهدف إلى ضمان توليد الطاقة النووية الآمنة والحد من انتشار الأسلحة النووية. خلال مشروع مانهاتن أعطي اليورانيوم المخصب الاسم الرمزي **oralloy**، نسخة مختصرة من سبائك أوك ريدج ، بعد موقع المنشآت حيث يجرى تخضيب اليورانيوم. لا يزال يستخدم مصطلح oralloy أحيانا للإشارة إلى اليورانيوم المخصب. وهناك حوالي ٢٠٠٠ طن (t, Mg) من اليورانيوم عالي التخصيب في العالم، ينتج معظمها لإنتاج الأسلحة النووية، تسيير السفن، وكميات صغيرة لمفاعلات الأبحاث.

U^{238} المتبقي بعد التخصيب يعرف باسم يورانيوم منضب (DU)، وهو أقل بكثير بالنسبة لمستواه الإشعاعي من اليورانيوم الطبيعي حتى، وإن كان لا يزال كثيفا جدا وخطرا للغاية في شكل حبيبات - هذه الحبيبات هي منتج جانبى طبيعي الذي يجعله من المفيد لصناعة الدروع - أسلحة اختراق و وقاية من الإشعاع. في الوقت الحاضر، لا يزال ٩٥ في المئة من المخزون في العالم من اليورانيوم المنضب في التخزين الآمن.

خاماته وتواجده:

هناك مناجم للفحم ومناجم للذهب .. كذلك هناك مناجم لمادة " اليورانيوم " الخامية ، حيث يتم استخراج هذا المعدن من مناجمه.

ويتحد اليورانيوم بسهولة مع العناصر الأخرى، ويوجد في الطبيعة عادة مكونًا مركبات مع الأكسجين. وفي معظم المياه السطحية والجوفية يوجد اليورانيوم في شكل أكسيد أو كربونات أو فوسفات أو فلوريد أو كبريتات. وبالإضافة إلى ذلك، يتفاعل اليورانيوم مع الأحماض مكونًا مركبات تسمى أملاح اليورانيل.وكل مركبات اليورانيوم عالية السمية. المصدر الأساسي لليورانيوم هو اليورانينيتUO_2 ، ومن أهم أنواعه البتشبلند، الذي اكتشف فيه اليورانيوم لأول مرة .

ومن الخامات الرئيسية الأخرى:

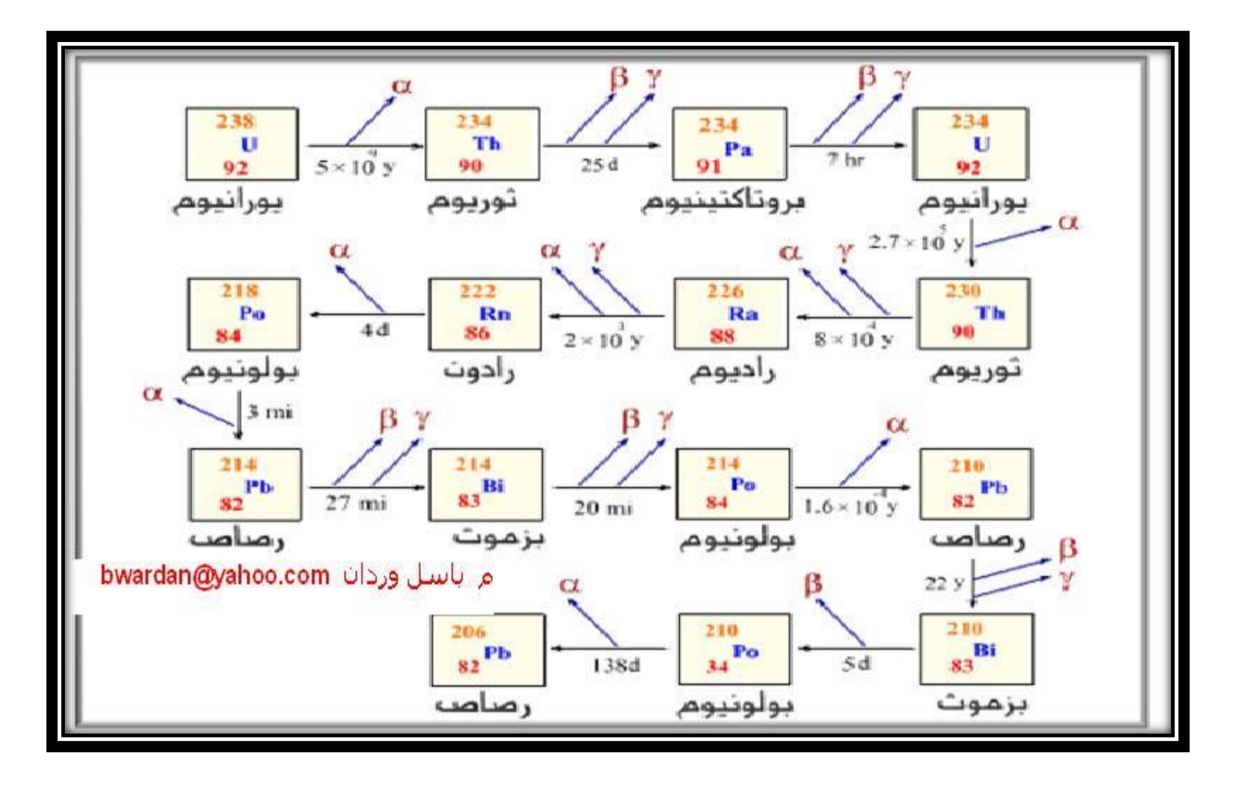
اليورانوفان.
الكوفينيت.
الكارنوتيت$K_2(UO_3)(VO_4)_2.3H_2O$.

وقد يحتوي الحجر الجيري والطفل والفوسفات على ترسبات قيمة من خامات اليورانيوم بينما يحتوي الجرانيت عادة على كميات قليلة من اليورانيوم.

وفي دراسات وجد ان الفوسفات الأردني المستخدم في صناعة حامض الفوسفوريك يحتوي على نحو ٥٠ إلى ١٠٠ جزء بالمليون من اليورانيوم الذي يمكن إستخلاصه بالطرق التكنولوجية الحديثة لإنتاج مادة الكعكة الصفراء(Yellow Cake) .

النشاط الإشعاعي:

كل نظائر اليورانيوم مشعة، حيث تنحل (تتفتت) نوى ذراتها مطلقة جسيمات وطاقة، وخاصة جسيمات ألفا وجسيمات بيتا وأشعة جاما. وعندما ينحل النظير يتحول إلى نظير آخر. وبحدوث سلسلة من الانحلالات يتحول اليورانيوم في النهاية إلى نظير للرصاص غير مشع.



تطبيقات واستخدام اليورانيوم:

١_الاستخدام السلمي: حيث يستخدم اليورانيوم المخصب الذي وصلت فيه درجة تركيز اليورانيوم ٢٣٥ القابل للانشطار من ٣ % إلى ٥ %. وعامل التحفيز النيوتروني يجب أن يكون أقل من الواحد في صناعة وقود المفاعل النووي لإنتاج الطاقة(حيث إن عامل التحفيز النيتروني

هو عدد النيترونات المستخدمة في انشاء سلسلة التفاعلات chain reaction في المفاعل النووي). يستعمل اليورانيوم المستنزف أيضا كدرع واقي لبعض الحاويات المحتوية على مواد اشعاعية. ويستغل المهندسون ثقل اليورانيوم في عدد من التطبيقات، حيث يستخدمون اليورانيوم في البوصلات الدوارة في الطائرات، لحفظ توازن الجنيحات وغيرها من سطوح التحكم في الطائرات والمركبات .

يعد اليورانيوم وقودا ممتازا في المنشأت التي تعمل بالطاقة النووية .كما أن خواص اليورانيوم المشعة ونصف عمر العينة يجعله مناسبا لتقدير عمر الصخور النارية. ويستخدم العلماء اليورانيوم أيضًا لتحديد والمياه الجوفية وترسبات الترافرتين)أحد أشكال الحجر الجيري) في المواقع الأثرية. يوجد اليورانيوم أساسًا في الصخور، ولكن بتركيزات منخفضة جدًا. ففي المتوسط، يوجد ٢٦ رطلاً فقط من اليورانيوم في كل مليون رطل من القشرة الأرضية .ويوجد اليورانيوم بتركيزات أقل من ذلك في الأنهار والبحيرات والمحيطات وغيرها من الأجسام المائية، حيث يوجد ما بين ٠,١ رطل و١٠ أرطال من اليورانيوم في كل بليون رطل من الماء، بما تحتويه من مواد محتوية على اليورانيوم. تشغيل المحطات الضخمة لتوليد الكهرباء، وفي تحلية ماء البحر.

2-**الاستخدام العسكري -:**حيث يستخدم اليورانيوم المخصب في إنتاج الأسلحة النووية (قنابل ، رؤوس نووية) ولكي يتم إنتاج أسلحة نووية يشترط أن تكون نسبة اليورانيوم ٢٣٥ المخصب من ٢٠ % إلى ٩٠ % وهذا يتوقف على نوعية السلاح وهنا عامل التحفيز النيتروني يجب أن يكون أكبر فاليورانيوم ٢٣٥ يستخدم لصناعة الاسلحة النووية من الواحدالانشطارية والاندماجية والتي لها الاثر الكبير على الارواح والممتلكات.

يستخدم اليورانيوم في التطبيقات العسكرية في ما يسمى بالقاذفات الخارقة حيث يتم استعمال اليورانيوم المستنزف الذي يستطيع تدمير الاهداف المدرعة عند السرعات العالية. ولهذه الشظايا اثر سلبي على البيئة كما حدث في أحداث حرب الخليج (متلازمة حرب الخليج.

مصادر الطاقة المتجددة:

الطاقة الشمسية و تعتبر الشمس مصدر الطاقة اللازم لاستمرار الحياة على الأرض ، وتعتبر ايضا المصدر الرئيسي للطاقة بمختلف أنواعها حيث تبذل الدول جهودا كثيرة عن طريق البحوث العلمية لتطوير الطرق الخاصة باستغلالها كطاقة بديلة للنفط والغاز .

طاقة الرياح حيث يتم تحويل الرياح إلى طاقة كهربائية بواسطة توربينات عملاقة . وتعتبر طاقة الرياح الطاقة الأكثر نموا و الأسرع على المستوى العالمي في الطاقات الجديدة .

طاقة الكتلة الحيوية وهي كل أنواع المواد المشتقة من النبات التي يمكن استخدامها لإنتاج الطاقة مثل الخشب والنباتات العشبية والمحاصيل الزراعية . ومصادر هذه الطاقة يتم إنتاجه خلال عملية التمثيل الضوئي .



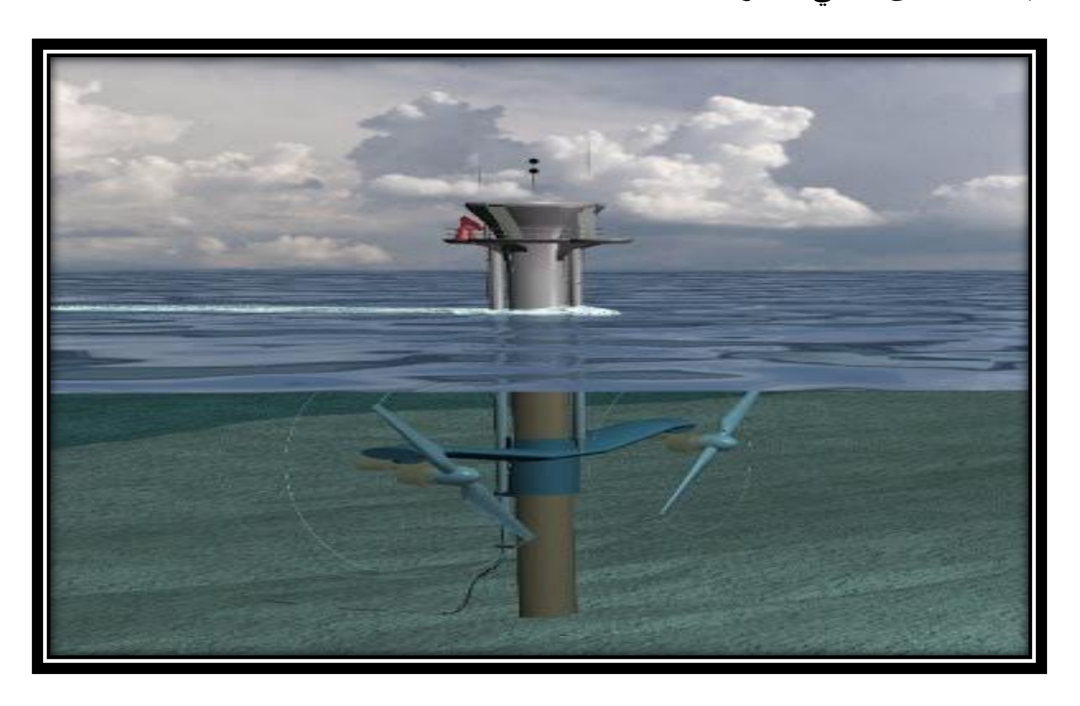
الطاقة الهيد رولوجية أو طاقة الماء وهي استخدام الماء الجاري ومساقط المياه لإنتاج الطاقة ، وتعتبر من أنظف الطاقات المتجددة والأكثر كفاءة لإنتاج الكهرباء . وقد لعبت دوراهاما ورئيسيا في تنمية المجتمعات البشرية في كافة أنحاء العالم .



طاقة المحيطات وتظهر من خلال أربعة أنواع من الطاقات وهي :



-**طاقة المد والجزر** حيث أن ارتفاع منسوب مياه البحر وانخفاضه يمكن استغلاله كمصدر هام من مصادر الطاقة المتجددة وقد استخدم المد والجزر لتوليد الكهرباء باستخدام توربينات تديرها مياه تصب من أعالي السدود .



-**طاقة الأمواج** وهي عبارة عن نوعين الأول وهي طاقة حركة الأمواج عند تحركها أما النوع الثاني طاقة الوضع لهذه الأمواج في إزاحتها رأسيا كلما مرت الموجة على نقطة معينة .

-طاقة الإختلاف في الملوحة ، لم يتم الاهتمام بها نظرا للكلفة العالية للتقنية المستخدمة فيها .

.**طاقة الحرارة من المحيطات** وتكمن الفكرة في استغلال الفارق في الحرارة بين سطح المحيط في المناطق الإستوائية والتي تقدرب ٢٥ درجة مئوية وتقدر مساحة المحيطات التي يمكن استغلال طا قة الفارق بين حرارة سطحها وعمقها ٦٠ مليون كيلومتر مربع . أي أن الجهد المتوفرمن هذه الطاقة يساوي ضعفي المتوفر من طاقة المد والجزر وطاقة الأمواج أو طاقة الرياح .

- المصادر البديلة للطاقة :

هناك عدد آخر من المصادر البديلة alternative sources of energy للطاقة قد تساهم في المستقبل في خفض الاحتياج المتوقع للزيت والغاز الطبيعي والفحم واليورانيوم . حيث ستساهم القوة الهيدروكهربية (القوة الكهربائية المائية)hydroelectric power وهى توليد الكهرباء من القوة المائية فى حوالى ٤ % من احتياجات الطاقة في الولايات المتحدة. ويتم توليد الكهرباء باستخدام التوبينات من الماء الساقط من خزانات المياه وراء السدود. وفى مصر، يتم توليد الكهرباء من التوربينات الموجودة عند السد العالي بأسوان . وقد تساهم طاقة حرارة الأرض geothermal power بصورة أساسية فى احتياجات الطاقة، خاصة إذا تم استخدام تقنيات ناجحة لتجميع حرارة المناطق خاصة تلك غير المميز بينابيع حارة فوق سطح الأرض. وتساهم

طاقة حرارة الأرض عموما بحوالي ٠,٢% فقط من احتياجاتنا من الطاقة. وقد تساهم الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في سد احتياجاتنا فى المستقبل خاصة إذا تم تطوير طرق تخزين الطاقة . وتبذل فى الوقت الحالي جهود ضخمة لتحسين تقنية تجميع الطاقة الشمسية وتشمل الطرق الأخرى لتوليد الطاقة استخدام طاقة المد والجزر وطاقة الأمواج وطاقة تيارات المحيط والطاقة الناتجة من الاختلافات فى درجة الحرارة رأسيا فى المحيطات .

وترجع الأهمية الكبرى لعديد من مصادر الطاقة البديلة أنها طاقات متجددة، فنحن لا نستنفد أشعة الشمس أو الرياح أو المد والجزر عندما نستحدم طاقتها. وقد يؤدى انتشار استخدام مصادر الطاقة المتجددة فى المستقبل إلى تقليل احتياج العالم إلى الوقود الحفري .

المراجع

قائمة المراجع العربية:

١- أبو العينين ، حسن سيد أحمد (١٩٦٧ م) : دراسات في جغرافية البحار والمحيطات – مكتبة الجامعة العربية – القاهرة-مصر .
٢- آغا ، شاهر جمال : (١٩٩٥م) : الزلازل حقيقتها وآثارها - عالم المعرفة .
٣- أبو العينين ، حسن سيد أحمد (١٩٧٩ م) : كوكب الأرض وظواهره التضاريسية الكبري – دار النهضة العربية – بيروت .
٤- البصيلي ، أحمد مصطفي وزميله – المعادن والصخور – الجمهورية العراقية - وزارة التعليم العالي والبحث العلمي .
٥- باشا ، سعد حسن صالح (١٩٩٢م) : الجيولوجيا العامة (علوم الأرض) – مؤسسة زهران – عمان .
٦- جميل ، عادل كمال وآخرون (١٩٨١م) : علم الصخور – الجمهورية العراقية – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي .
٧- عميرة ، بلال سعد وآخرون (١٩٩٦م) : علوم الأرض والبيئة للصف الثاني الثانوي العلمي – وزارة التربية والتعليم – عمان .
٨- جودة ، حسن جودة (١٩٩١م) : معالم سطح الأرض – دار النهضة العربية – بيروت .
٩- خوري ، هاني نقولا (١٩٨٩ م) : المعادن والصخور الصناعية – توافرها وخصائصها ونشأتها – عمان – منشورات الجامعة الأردنية .
١٠- الخوري ، فارس لطفي – مترجم (١٩٨٧م) : علم الأرض – سلسلة المائة كتاب - دار الشئون الثقافية العامة – بغداد .
١١- حسن ، محمد يوسف وزميليه (١٩٩٠م) : أساسيات علم الجيولوجيا – مركز المكتب الأردني – عمان .
١٢- ميشيل كامل عطا الله (٢٠٠٠م) : أساسيات الجيولوجيا – عمان – دار المسيرة للنشر والتوزيع .
١٣- الصائغ ، عبد الهادي يحيي وزميله (١٩٧٧م) : الجيولوجيا العامة .ط٢ – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل .
١٤- متولي ، محمد – وجه الأرض - مكتبة الأنجلو المصرية – القاهرة .
١٥- خليل ، عماد (٢٠١٤م): علم المعادن- الموقع الالكتروني .
١٦- خليل ، عماد (٢٠١٢م): الإعجاز الجيولوجي في القرآن - الموقع الالكتروني.
١٧- خليل ، عماد (٢٠١٠م): الظواهر الطبيعية والكونية- الموقع الالكتروني.
١٨- محمود سليمان، مصطفى (١٩٩٦) : الزلازل – الهيئة المصرية العامة للكتاب.

قائمة المراجع الأجنبية:

1. Jassim, S. Z. and Jeremy C. Goff, (2006): Geology of Iraq. Published by Dolin, praque and Moravian museum, Brno. P. 341.

2. Keller E.A, (2012): Introduction to Environmental Geology, 5th edition, Pearson Prentice Hall.801 p.

3. Keller E.A., (2011): "Environmental Geology". 9th edition. Pearson Education, Inc. 624p.

4. Kenneth Pye & Haim Tsoar, (2009): Aeolian Sand and Sand Dunes, Springer Publisher, P.453.

5. Kyoji Sassa et.al., (2013): Landslides: Global Risk Preparedness, Springer Pub. P. 385.

6. Knodel K, Lange G and Voigt H, (2007): Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1374 p.

7. Lottermoser G.Brend,(2007):Mine Wastes, 48.

Manuel Martin Characterization,Treatment and Environmental Impacts. 2nd Edition, Springer Pup., p.304.

8. Marshak S., (2008): " Earth Portrait of a Planet" 3rd Edition. W. W. Norton & Company, Inc. 957p.

9. Miller G.T and Spoolman S.E., (2010): "Environmental Science". 13th Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. 553p.

10. Montgomery C.W., (2011): "Environmental Geology". 9th Edition. McGraw-Hill Companies,Inc. 56 lp.

11. Philip E. LaMoreaux, Mostafa M. Solaiman, Bashir A. Memon, James W. LaMoreaux and Fakhry A. Assaaad, (2009): Environmental Hydrogeology, 2nd Edition, CRC Press, P.365.

12. Peirce J.J, Weiner R.F and Vesilind P.A., (1998): "Environmental Pollution and Control". Butterworth-Heinemann. 409p.

13. Pepper I.L, Gerba C.P and Brusseau M.L., (2006): "Environmental and Pollution". 2nd Edition. Elsevier Inc. 553p.

14.Reichard J.S., (2011); "Environmental Geology", McGraw-Hill. 593p.

15. Williams L.D., (2005): "Environmental Science Demystified - A Self-Teaching Guide". McGraw-Hill. 43lp.

16. Randall W. Jibson (2005): Landslide Hazards at La Conchita, California, U.S. Geological Survey.

17. Shao Hong-Bo, (2012): Metal Contamination, Sources, Detection, and Environmental Impact, NOVA Science Publishers, Inc. P.231.

18. Sean McCollum, (2007):Volcanic Eruption, Earthquakes & tsunamis, Chelser hous Publisher, P.81.

19 .TARBUCK E.J, LUTGENS F.K and TASA D, (2014): Earth An Introduction to Physical Geology, 11th edition, Pearson Education Inc. 904 p.

20. TARBUCK E.J, LUTGENS F.K and TASA D, (2012): Essentials of Geology. 11th edition. Pearson Education, Inc. 578 p.

21. William M. MARSH,, (1978):Environmental Analysis For Land Use and Site Planning, McGraw-Hill Book Company, USA, p. 240.

22. Wellmer F.W., Dalheimer M. anWagner M., (2008): Economic Evaluation in Exploration . Springer Pub. P.250.

23.Younger P.L., (2007): "Groundwater in the Environment: an introduction". BLACKWELL Puplishing. 337p.

24. Barhydt, Frances Bartlet et. al. (1993): The Science Teahers Book Lists. Prentice Hall.

25. Frank, P, and Ray Wand S. (1994): Understanding Earth. Freeman a Company. New York.

26. Jeffreys, Harold. (1970): The Earth. Cambridge at The Univers Prees.

27. Rogers, John J.W et al. (1966): Fundamentals of Geology. Harben Row Publishers, New York.

28. Tarbuck, E. Lutgens F. (1992): The Earth, Ar Introduction Physical Geology. Macmillon Pub. Compary, New York.

29. Ordway, Richard J. (1972): Earth Scienee 2ed ed. D. Van Nostra Company. New York.

30. Emmons, William H. et. al. (1955): Geology Principles and Process 4th ed, McGraw- Hill Book Company. INC. USA.

31. Ojakangas, Richard W. (1991): Theory and Problems of Introduce Geology, Schaum's Outline Series, New York.

32. Abdeen, M.M. and Greiling, R.O., (2005): A quantitative Sructural Study of Late Pan- African Compressional Deformation in the Central Eastern Desert (Egypt) During Gondwana Assembly. Gondwana Research, 8: 457-471.

33. Abdel-Rahman, A.M., (1996): Pan-African volcanism: Petrology and geochemistry of the Dokhan Volcanic suite in the northern Nubian Shield. Geological Magazine, 133: 17-31.

34. Ahmed, A.H., Arai, S. and Attia, A.K., (2001): Petrological characteristics of podiform chromitites and associated peridotites of the Pan African ophiolite complexes of Egypt. Mineralium Deposita, 36: 72-84.

35. El-Gaby, S., El-Nady, O. and Khudeir, A., (1984): Tectonic evolution of the basement complex in the Central Eastern Desert of Egypt. Geologische Rundschau, 73: 1019-1036.

36. El-Sharkawy, M.F.,(2000): Talc mineralization of ultramafic affinity in the Eastern Desert of Egypt. Mineralium Deposita, 35: 346-363.

37. Fowler, A.-R. and Kalioubi, B.E.,(2004): Gravitational collapse origin of shear zones, foliations and linear structures in the Neoproterozoic cover nappes, Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 38: 23-40.

38. Ghanem, M., Dardir, A.A., Francis, M.H., Zalata, A.A. and Zeid, K.M.A., (1973): Basement rocks in Eastern Desert of Egypt north of latitude 16°40'N. Annals Geol. Surv. Egypt, 3: 33-38.

39. Stern, R.J., (2002): Crustal evolution in the East African Orogen: a neodymium isotopic perspective. Journal of African Earth Sciences, 34: 109-117.

40. Stern, R.J., (2004): Subduction initiation: Spontaneous and Induced. Earth and Planetary Science Letters.

41. Stern, R.J., Gottfried, D. and Hedge, C.E., (1984): Late Precambrian rifting and crustal evolution in the Northeastern Desert of Egypt. Geology, 12: 168-171.
11-Khalil, S.M. and McClay, K.R., (2002): Extensional fault-related folding, northwestern Red Sea, Egypt. Journal of Structural Geology, 24: 743-762.

42. Abbott DH, Hoffman SE. (1984): Archean plate tectonics revised. I. Heat flow, spreading rate, and the age of subducting oceanic lithosphere and their effects on the origin and evolution of continents. Tectonics 3:429–448.

43. Cashman KV.(1990): Textural constraints on the kinetics of crystallization of igneous rocks. In: Nicholls J, Russell JK, eds. Modern methods of igneous petrology: Understanding magmatic processes: Rev. Mineral. 24:259–314.

44. Deer WA, Howie RA, Zussman J. (1997):An introduction
to the rock-forming minerals: Second edition. London,
Longman.

45. England PC, Richardson SW. (1977): The influence of erosion
upon the mineral facies of rocks from different metamorphic
environments. J. Geol. Soc. London 134:201–213.

46. England PC, Thompson AB. (1984): Pressure–temperature–
time paths of regional metamorphism I. Heat transfer
during the evolution of regions of thickened continental crust.
J. Petrol. 25:894–928.

47.Ernst WG, ed. (1975): Subduction zone metamorphism.
Stroudsburg, PA, Dowden, Hutchinson, and Ross.

48. Ernst WG.(1988): Tectonic history of subduction zones inferred
from retrograde blueschist *P*–*T* paths. Geology
16:1081–1084.

49. Fitton JG, Upton BGJ, eds. (1987: Microstructural evidence of
orders of crystallization in granitoid rocks. Lithos 21:237–245.

50. Barker AJ. (1990): Introduction to metamorphic textures and
microstructures. New York, Blackie.

51. Boggs S, Jr. (1995): Principles of sedimentology and stratigraphy.
Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

52. Burnham CW. (1979): Magmas and hydrothermal fluids. In:
Barnes HL, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits,
2nd ed. New York, John Wiley and Sons: 71–136.

53. KleckWD, Foord EE (1999) :The chemistry, mineralogy and
petrology of the Georgie Ashley Block pegmatite body.

54. Bradl H.B, (2005): "Heavy Metals in the Environment". ELSEVIER ACADEMIC PRESS. 283p.

55. Cunningham P.W. and Cunningham A.M.,(2013):Principle of Environmental Science, Inquiry and Application,7th Edition,McGraw Hill Press, P.399.

56. Carlson D.H, Plummer C.C and Hammersley L (2011):Physical Geology Earth Revealed. 9th edition. McGraw-Hill Companies, Inc., 670p.

57. Charles J. Moon, Michael K.G.Whateley, and Anthony M. Evans. (2006):Introduction to Mineral Exploration , Blackwell Publishing Ltd, P.481.

58. C. F. Stewart Sharpe, (1960) :"Landslides and Engineering Practice", NAS-NRC Publ. 544, Highway Research Board.

59. Cunningham W.P and Cunningham M.A., (2011): "Principles of Environmental Science Inquiry and Applications". 6th Edition. McGraw-Hill, Inc. 458p.

60. Curley R., (2011):"New Thinking about Pollution". Britannica Educational Publishing. 27 lp.

61. David & Patricia,(2006): Earthquakes, P.31, websites, http://www.howstuffworks.cpm/earthquake.htm.

62. Davie T., (2008): "Fundamentals of Hydrology". 2nd Edition. Routledge Taylor & Francis Group. 221p.

63. Desonie D., (2007): "Atmosphere Air Pollution and Its Effects". Chelsea House Publishers. 208p.

64. Desonie D., (2008): "Hydrosphere freshwater systems and pollution". Chelsea House Publishers. 209p.

65. Encyclopedia of the Geological Sciences, NY, (1978): pp.406-407.

66. Enger E.D and Smith B.F., (2010): "Environmental Science A Study of Interrelationships". 12th Edition. McGraw-Hill, Inc. 514p.

67. Erickson J., (2002): "Environmental Geology: Facing the Challenges of Our Changing Earth". Facts On File, Inc. 32lp.

68. Evans, A. M. (1986): An Introduction to ore geology, Blackwell scientific publications. P. 230.

69. Edwards, R. and Atkinson, K., (1986): Ore deposit geology, chapman and hall, p. 466.

70. Fred G. Bell and Laurance J. Donnelly,(2006): Mining and its Impact on the Environment, Taylor & Francies Publisher Group. P.547.

71. Graham R.Thompson and Jonathan Turk,(2007): Earth Science and the Environment, 4th Edition, Thomson Pub., P.635.

فهرس الكتاب

الفصل الثالث : الصخور النارية

الفصل الرابع: الرواسب والصخور الرسوبية

الفصل الخامس: الصخور المتحولة

الفصل السادس: التجوية والتعرية

الفصل السابع : البراكين

الفصل الثامن: الزلازل وتركيب الأرض

الفصل التاسع: تشوه الصخور: الطيات والصدوع

الفصل العاشر: الإنهيار الكتلي

الفصل الحادي عشر: دورة الماء والأنهار

الفصل الثاني عشر: المياه الجوفية

الفصل الثالث عشر: المثالج: عمل الجليد

الفصل الرابع عشر: الرياح والصحاري

الفصل الخامس عشر: الزمن الجيولوجي

الفصل السادس عشر: تكتونية الألواح

الفصل السابع عشر: تكتونية القشرة الأرضية

الفصل الثامن عشر: الثروة المعدنية ومصادر الطاقة



المؤلف

في / ١٥/١١/٢٠١٦ م

رقم الإيداع : 11430
الترقيم الدولي : 2 -3397 -90 -977 - 978



- الاسم :عماد محمد إبراهيم خليل .
- الدرجة العلمية : دكتوراة .
- اللقب العلمي :استاذ مساعد .
- تاريخ ومكان الميلاد : الشرقية – مصر – 1956-11-15.
- التخصص العام : جيولوجيا.
- التخصص الدقيق : الصخور الصلبة (الصخور النارية والمتحولة) والجيوكيمياء.
- بكالوريوس جيولوجيا: كلية العلوم/ جامعة الزقازيق /1979.
- ماجستير: صخور صلبة وجيوكيمياء / كلية العلوم / جامعة الزقازيق 1984 .
- دكتوراة: صخور صلبة وجيوكيمياء/ كلية العلوم/ جامعة الزقازيق 1990 .
- نشر عدة أبحاث في مجالات الصخور الصلبة والمعادن والجيوكيمياء وتلوث التربة والمياه.
- لد يه العديد من مؤلفات الكتب العلمية المصدرية والمساعدة في تخصص جيولوجيا .





رقم الإيداع : 11430

الترقيم الدولي : 2 -3397 -90 -977 - 978